

MINI REVIEW

The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences

Abstract: Organisms must adapt to the temporal characteristics of their surroundings to successfully survive and reproduce. Variation in the daily light cycle, for example, acts through endocrine and neurobiological mechanisms to control several downstream physiological and behavioral processes. Interruptions in normal circadian light cycles and the resulting disruption of normal melatonin rhythms cause widespread disruptive effects involving multiple body systems, the results of which can have serious medical consequences for individuals, as well as large-scale ecological implications for populations. With the invention of electrical lights about a century ago, the temporal organization of the environment has been drastically altered for many species, including humans. In addition to the incidental exposure to light at night through light pollution, humans also engage in increasing amounts of shift-work, resulting in repeated and often long-term circadian disruption. The increasing prevalence of exposure to light at night has significant social, ecological, behavioral, and health consequences that are only now becoming apparent. This review addresses the complicated web of potential behavioral and physiological consequences resulting from exposure to light at night, as well as the large-scale medical and ecological implications that may result.

Kristen J. Navara and Randy J. Nelson

Departments of Psychology and Neuroscience, Institute for Behavioral Medicine Research, The Ohio State University, Columbus, OH, USA

Key words: cancer, endocrine disruptor, immune, light pollution, melatonin

Address reprint requests to Kristen J. Navara, Poultry Science Department 216 Poultry Science Bldg Athens, GA 30602 – 2772 E-mail: knavara@gmail.com

Received April 20, 2007; accepted May 29, 2007.

Introduction

Successful organisms must adapt to temporal, as well as spatial niches. Endogenous biological clocks allow individuals to anticipate and adapt to the daily light-dark cycles in their environments to optimally time metabolism, physiology, and behavior each day. Rodents in nontropical environments, for example, alter reproductive, metabolic [1], and immunological activities [2] based on changes in day length throughout the seasons. The timing of avian reproduction and molt also often depends upon seasonal changes in day length [3], and many species, including some birds [4,5], rodents [6], bats [7], and marine animals [8], adjust foraging activities according to changes in the lunar cycle. Aside from seasonal adjustments, there is marked circadian variation in physiological functions. In many species, including some birds, rodents, fish, and humans, for example, circulating concentrations of sex steroids [9–11] and glucocorticoids [12] vary with the light/dark cycle throughout the day, causing corresponding changes in reproductive activities [13] and metabolic functions [14].

Responses to natural light cycles result in an adaptive temporal organization in humans and other animals. With the invention and use of electrical lights, beginning about a century ago, this temporal organization has been dramatically altered. Light at night has significant social, ecological, behavioral, and health consequences that are only now

becoming apparent. The extensive control that light-driven mediators exert upon multiple body systems, for example, creates numerous targets on which light-induced disruptions can act, resulting in a wide range of physiological changes and potentially serious medical implications. In a broader context, underpinning physiological mechanisms regulate a variety of behaviors, ranging from reproduction to foraging, creating expansive targets for light disruption. Assuming that adaptive processes have optimized the physiological and behavioral regulation of animals according to changing day lengths and circadian cycles, artificial changes in light cycles could have drastic fitness effects. This review summarizes the medical and ecological implications of exposure to artificial light at night, and related disturbances in normal seasonal and circadian physiological and behavioral functions.

Sources of light at night

Light pollution by urban development

Urban development has brought the need for artificial lighting of roadways, shopping centers, stadiums, and homes. Some of this light strays and scatters in the atmosphere, bringing about a brightening of the natural sky beyond background levels, called urban sky glow [15,16]. Light pollution has demonstrated effects on daily

human life. In 2001, the percentage of the world's population living under sky brightness higher than baseline levels was 62%, with the percentages of US and European populations exposed to brighter than normal skies lying at 99% [16]. In addition, >80% of the US population and 2/3 of the population in the European Union regularly experience sky brightness greater than nights with a full moon. In these cases, true night darkness is never experienced because the brightness is slightly higher than the typical zenith brightness at nautical twilight [16]. Since the 1960s, artificial lighting has gradually changed from an incandescent-bulb form, which consists of mainly low-level yellow wavelengths, to a high-intensity discharge (HID) form that contains blue wavelengths (reviewed in [17]). Retinal ganglion cells responsible for detecting light and suppressing melatonin production in humans are most sensitive to blue/violet light (~459 nm) [18]. In addition, studies on the action spectrum for human melatonin regulation indicate that exposure to incandescent lighting for <1 h can result in a 50% decrease in circulating melatonin levels, and exposure to even very low levels of blue spectrum light comparable in brightness to moonlight resulted in melatonin suppression in humans as well (reviewed in [17]). Thus, increasing levels of sky glow and exposure to street lighting can disrupt the 'natural' world to which the human body is currently adapted.

While humans live much of their lives based on artificially manipulated light cycles governed by electric lighting, wild species are entirely dependent upon and responsive to changes in natural day length. Thus, photic disturbances that alter the natural light cycle may have elevated physiological and behavioral effects in these species compared with humans. Many 'wild' or national parks are surrounded by or in close proximity to urban centers, causing increased incidence of sky glow over those areas

[15], thus exposing many wild species to an artificial and potentially disruptive light cycle.

Shift work

In addition to incidental light exposure resulting from night lighting, current society is experiencing an abolishment of 9–5 workdays in exchange for greater numbers of night shifts and resulting increases in productivity and profit. North American fast-food restaurants glean profits during the late night and early morning hours. In addition, in a survey conducted from 1985 to 2004, approximately 15% of surveyed American full-time wage and salary workers worked a shift other than a daytime schedule; over half of these workers reported that such hours resulted from 'the nature of the job' and not personal preference (US Dept. of Labor, Retrieved June 13, 2007 from <http://www.bls.gov/news.release/flex.pdf>). Such trends not only exist in the USA, but also in Canada where approximately 30% of employed individuals work alternative shifts [19]; overall, in any urban society, an estimated 20% of people work alternative shifts [20]. Shift-workers live much of their lives out-of-phase with 'normal' local time, but often cannot completely adjust their circadian rhythms due to the changing schedules of the shift-work, and the necessary readjustment to rest days [20]. Thus, shift-workers are experiencing intentional exposures to light at night that could disrupt normal circadian physiological and behavioral rhythms.

Physiological and medical implications

The circadian pacemaker is responsible for organizing the timing of the entire body, spanning multiple body systems [21–24]. Light is detected by photoreceptive ganglion cells

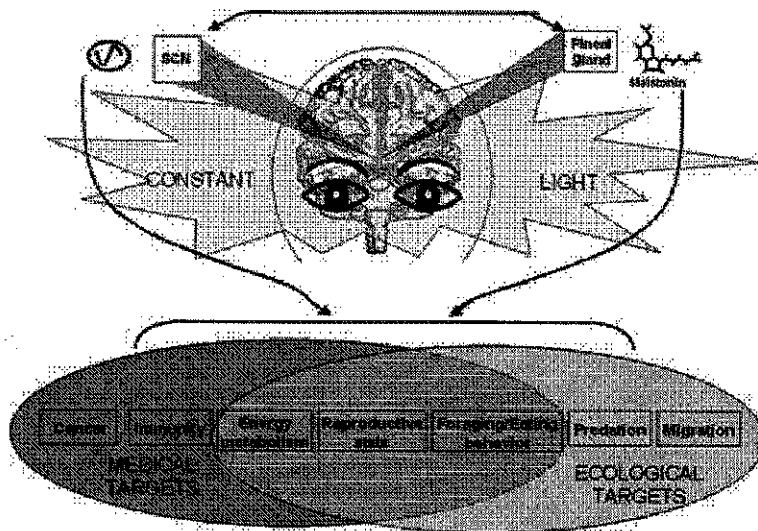


Fig. 1. Exposure to night-time lighting through urban sky glow and/or night shift work could mimic the documented physiological and behavioral effects associated with exposure to constant levels of light. These effects are complex and multi-tiered, and could have large-scale medical and/or ecological implications. Light detected by the retinal ganglial cells (RGCs) programs the suprachiasmatic nuclei (SCN), or the circadian pacemaker. The SCN exerts direct effects on several body systems and stimulates rhythmic melatonin secretion from the pineal gland. Melatonin acts as a transducer of light:dark information into additional physiological signals that results in downstream effects on many body systems. (arrows are not meant to represent exact anatomical locations).

(pRGCs) in the eye. A cluster of pRGCs form the retino-hypothalamic tract that projects to and entrains a group of neurons that make up the circadian oscillators in the suprachiasmatic nuclei (SCN) [25], which control melatonin synthesis in the pineal gland. Melatonin is an indole-amine that is found throughout the animal kingdom and orchestrates changes in many physiological functions in response to variation in day length (reviewed in [26]), and the nightly duration of melatonin is the critical parameter responsible for transducing the effects of light on both the neuroendocrine axis and directly on individual body systems [27]. Exposure to extended periods of light alters melatonin levels in many species, including humans [28–31]. Thus, exposure to light at night could result in a variety of physiological effects, potentially mediated through varying levels of melatonin (Fig. 1). In addition, direct sympathetic control of physiological processes after variation in lighting conditions has been documented independently of melatonin synthesis [1]. Consequently, exposure to extended periods of light could alter physiological state through a variety of other mechanisms.

Disruptions of normal circadian timing can evoke a multitude of downstream effects, reorganizing the entire physiological state. Constant lighting conditions alter the rhythmicity of several hormones including prolactin [32], glucocorticoids [33,34], adrenocorticotrophic hormone, corticotrophin releasing factor [35], serotonin [36], and melatonin [37]. Human exposure to a low-level incandescent bulb at night requires only 39 min to suppress melatonin levels to 50% [38]. Such changes in melatonin production and release regulates metabolism, immune function, and endocrine balances via the reproductive, adrenal, and thyroid hormone axes [27]. The ensuing effects of disrupted melatonin rhythms by chronic exposure to light at night are countless. In addition, the effects resulting from downstream consequences, such as sleeplessness, make the web of physiological changes resulting from constant light even wider. In the interest of space, the medical implications associated with sleep deprivation will not be considered in depth here. Recent work has largely focused on the potential link between exposure to artificial light at night and the prevalence of several cancers (see below). Such links, however, would likely result from a combination of upstream physiological effects originally triggered by the alteration of the circadian system, many of which could have drastic medical implications in addition to cancer. For example, melatonin and its metabolites have the ability to protect against oxidative stress and diseases resulting from oxidative attack (see below). Depression of melatonin could thus magnify the amount and results of oxidative damage. There is a need for a full understanding of the physiological and epidemiological impacts caused by increasing exposure to light at night through light pollution and shift work.

Metabolic disruption

Efficient energy metabolism is crucial to overall physiological function. Interruptions or difficulties with the efficiency of metabolic processes can result in a variety of disorders, including obesity, type II diabetes, and heart disease. There is an abundance of evidence illustrating an

effect of exposure to extended levels of artificial light both directly on metabolic processes, as well as on several of these epidemiological end-points.

Long-term exposure of rats to constant light had strong regulatory effects on metabolism, specifically on carbohydrate metabolism in the liver [39]. Experiments on broiler chickens demonstrated that constant light shifts metabolic efficiency; female broiler chickens reared in a constant light environment gained a significantly higher percentage of fat compared with controls reared on a 12 L:12 D light cycle. Male broiler chickens also gained significantly more weight when exposed to constant light, but the mechanism behind this effect differed (i.e. food intake was higher in males reared in constant light) [40]. Constant-light induced interruption in the nightly secretion of melatonin has also been shown to exert metabolic effects. Melatonin appears to affect body mass regulation, gut efficiency, metabolic rate, and nonshivering thermogenesis in some mammalian species (reviewed in [26]), and also improves ATP synthesis in the heart [41]. Thus, the basic processes associated with acquisition and utilization of energy are functionally altered after exposure to extended periods of artificial lighting.

Several studies suggest that humans are experiencing similar effects in response to artificial light exposure at night. For example, detrimental effects of shift work have been observed in carbohydrate and lipid metabolism, insulin resistance, hypertension, coronary heart disease, and myocardial infarction (reviewed in [42]). Such influences could result from either direct physiological effects of light exposure or indirect effects associated with a lack of sleep [42]. Sleep deprivation significantly alters endocrine and metabolic parameters associated with diabetes, obesity, and a cascade of other disorders [43]. On the other hand, melatonin levels, which reflect changes in light environment more directly, have been associated with coronary heart disease. For example, in a correlative study, patients with coronary heart disease had significantly lower melatonin concentrations at night compared with patients without heart disease [44]. Melatonin reduces the activity of the sympathetic nervous system and significantly reduces norepinephrine turnover in the heart, a potentially beneficial effect because norepinephrine and epinephrine accelerate the uptake of LDL cholesterol [45]. Because exposure to extended periods of low-level artificial night-time lighting decrease melatonin production in rodents [28,45] and humans (reviewed in [17]), the potential for a direct link between exposure to night-time light and metabolic disorders, such as heart disease, become clear. It remains to be determined the extent to which metabolic disorders reflect direct effects of light on circadian organizations or downstream processes such as sleep disruption.

Oxidative stress

Light exposure can also have indirect adverse effects through the promotion of oxidative stress, which can lead to a variety of other disorders, including damage to immune cells and other tissues in the body, elevated incidence of cancer, and an increase in the rate of physiological aging [46]. Exposure of living organisms to light and oxygen results in the production of toxic molecules, reactive oxygen

species, and photo-oxidants (reviewed in [47]). For example, rats maintained in constant light significantly increased lipid peroxidation in the liver, kidney, and brain [28]. Similarly, rats exposed to constant light significantly elevate levels of hepatic oxidative stress [48]. Oxidative stress is combated through numerous physiological mechanisms responsible for maintaining an oxidant:antioxidant balance within the body. Melatonin is a well-known antioxidant, playing a significant role in antioxidant defense and regulating antioxidant enzyme activity and production (reviewed in [49]). In humans, melatonin levels correlate with total antioxidant capacity of the blood [50]. Constant light reduces both melatonin levels and pineal weights to a minimum [28] and the pro-oxidative effects of constant light were preventable through simultaneous administration of melatonin [28]. Activity of glutathione peroxidase, an important antioxidant enzyme, decreased in rats maintained in constant light [28]. Similarly, constant light exposure reduces glutathione levels [51], suggesting a decrease in glutathione production as well. It is likely that suppression of melatonin in response to constant light exposure may at least partially mediate the regulation of glutathione peroxidase activity, as previous studies have shown that melatonin stimulates glutathione synthesis [52] and melatonin deficiency leads to decreased tissue glutathione peroxidase activity (discussed in [28]). Melatonin is unique in that the free radical scavenging capability extends to its secondary, tertiary, and quaternary metabolites, making it a highly effective antioxidant even at low concentrations (see [47] for review). Thus, decreased levels and durations of melatonin production resulting from exposure to constant lighting conditions may result in decrease in the level and duration of this potentially important antioxidant. Alternatively, influences of changing the light environment on oxidative stress could result from downstream consequences of resulting sleep deprivation as documented in the brains of rats [53]. Considered together, these documented reductions in melatonin concentrations in humans exposed to night-time light suggest an elevated risk of oxidative stress and many related disorders after exposure to light pollution, shift work, or both.

Immunological modulation

Exposure of an individual to chronic artificial night-time lighting could alter immune function, through some combination of oxidative, neural, or endocrine pathways. Numerous examples across taxa are available. For example, housing Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) in constant lighting conditions significantly suppressed both cell-mediated immune responses to a challenge with phytohemagglutinin (PHA) and humoral responses to challenges with Chukar red blood cells (RBCs) [54]. Similarly, cockerels maintained in constant lighting conditions produced significantly fewer antibodies to a challenge with sheep RBCs and displayed significantly reduced delayed type hypersensitivity responses compared with controls maintained in 12 L:12 D lighting conditions [55]. In a mammalian model system, nocturnal light exposure suppressed the normal increase in cytotoxic activities of natural killer cells [56].

Because exposure to light at night is accompanied by a significant decrease in melatonin levels (see above), it is relevant to briefly discuss the potent effects that melatonin has on the immune system. The injection of Syrian hamsters with melatonin, or maintenance of hamsters in short photoperiods which increase melatonin levels resulted in increased splenic masses, total splenic lymphocyte counts, and macrophage numbers [57]. A number of studies have confirmed the existence of melatonin receptors in lymphatic tissue and on circulating cells of the immune system (reviewed in [26]). Although prevalence of splenic melatonin receptors typically fluctuate such that receptor numbers are low at night when melatonin levels are high, levels of binding sites during light at night remain high [58]. Melatonin has been reported to counteract drug or hormone-based immunosuppression and appears to have generally immunostimulatory properties (reviewed in [26]). Suppression of melatonin by exposure to light pollution or during shift work could suppress such immunostimulatory properties. On the other hand, constant light generally inhibits T-cell autoimmunity by eliminating melatonin [26], a potentially beneficial effect. Carrillo-Vico et al. provide an excellent review of the effects of melatonin on the immune system [59]. Based on these documented effects, the potential exists for artificial night-time light to have potent and multi-pathway modulatory effects on the immune system. Similar effects could result from decreases in sleep efficiency associated with exposure to constant levels of light. For example, in a study of humans, 40 h of wakefulness resulted in significant changes in several immune parameters, including a decrease in natural killer cell activity [60]. Sleep deprivation also activates the HPA axis in rats and alters subsequent responses to stress [61], which could exert indirect effects on the immune system as well. Thus, through either direct endocrine effects or indirect sleep-related effects, exposure to light at night has the potential to significantly modulate immune function, leading to large-scale medical implications.

Cancer

Resistance to cancer is often accomplished through endocrine, antioxidant, and immunological processes. It is now apparent that all of these processes can be altered by exposure to light at night; evidence is mounting that forms links between extended exposure to light and the incidence of several cancers in both humans and animals. For example, the risk of developing breast cancer is up to five times higher in industrialized nations than in underdeveloped countries [62]. Current evidence suggests that high levels of artificial light at night in industrialized societies may play a role in cancer risk. Multiple studies have documented a link between night shift work and an increased incidence of breast cancer (reviewed in [63]). In a nationwide study of 7035 Danish women with confirmed primary breast cancer, at least half a year of predominantly work during the night increased the risk of breast cancer 1.5 fold [64]. Other studies of women involved in various types of work during the night have consistently demonstrated an up to threefold increase in the relative risk of breast cancer ([64], also see [65] for review). Although night shift work

increased the incidence of breast cancer, an increased risk was also documented in individuals who reported not sleeping during the time of night when melatonin is typically elevated [66]. Importantly, there was an indication of increased risk in patients with the brightest bedrooms [66]. Although breast cancer is the most abundantly studied cancer type in relation to light at night and shift work, recent studies have begun examining links with other cancer types. For instance, in a study of 602 colorectal cancer cases among 78,586 women, it was determined that a rotating night shift at least three nights per month over at least 15 yr increases the risk of colorectal cancer [67]. Considered together, abundant evidence suggests that circadian disruption, and/or the changes in melatonin and other physiological systems may increase the risk of cancers.

Specific evidence of the role of light in tumor development was demonstrated in deer mice (*Peromyscus maniculatus*); mice maintained in long day lengths (16 L:8 D) were significantly more likely to develop tumors induced by 9,10-dimethyl-1,2,benzanthracene (DMBA) compared with animals maintained in short day lengths (8 L:16 D) [68]. Indeed, 90% of animals in long day lengths developed tumors, whereas animals maintained in short day lengths developed none. More recent studies have demonstrated that exposure to extended dim light can have similar effects on tumor incidence and growth. Exposure to constant dim light (0.21 lux) significantly increased the growth of MCF-7-induced tumors and significantly increased the total tumor fatty acid uptake, linoleic acid uptake, and 13-hydroxyoctadecadienoic acid (13-HODE) production (reviewed in [69]). Additionally, female rats with small DMBA-induced tumors were maintained in one of the four treatment groups, including a normal light cycle (12 L:12 D), a constant bright light cycle (24 h at 300 lux), a normal light cycle with a flash of bright light halfway through the dark period, and a normal cycle with low level incandescent lighting throughout the dark period [70]. Animals maintained in the normal light cycle (12 L:12 D) had significantly lower rates of tumor growth than all other treatments, and the animals experiencing dim light at night had the lowest survival probability. In summary, extended periods of exposure to even dim levels of light impair suppression of tumor development.

Both experimental and clinical reports suggest a link between cancer development and pineal function (reviewed in [26]). Under a majority of in vitro conditions, physiological levels of melatonin decrease the rate of cell proliferation, whereas elevated concentrations tend to be either cytostatic or cytotoxic (reviewed in [69]). Melatonin may shift the cell balance from proliferation to differentiation, and thus can prevent the proliferation of tumor cells. In addition, melatonin may promote apoptosis of cancer cells (reviewed in [69]). Pinealectomy accelerates the growth of transplanted melanoma in hamsters [71] and of transplanted Yoshida sarcoma in rats [72]. In addition, DMBA-induced mammary tumors grew more slowly in rats treated with melatonin when compared with control rats that did not receive melatonin ([73], reviewed in [74]). In a particularly elegant study, rats were implanted with either rat hepatomas or human breast cancer xenografts [62]. Resulting tumors were subsequently perfused in situ with human

blood collected from subjects during the daytime, during the night, or following exposure to 580 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ of white fluorescent light at night. In addition, some of the blood collected from individuals exposed to night-time light was also supplemented with a synthetic form of melatonin. Proliferative activity, linoleic acid production, 13-HODE production, and tumor cAMP levels significantly decreased when tumors were exposed to blood taken from individuals during the night-time. This suppressive effect disappeared when tumors were exposed to blood from individuals who experienced night-time light, leaving proliferation levels similar to those perfused in blood from daytime individuals. Interestingly, when melatonin was added to blood from light-exposed individuals, tumor proliferation and activity was again suppressed [62]. These data suggest that melatonin exerts a direct effect on tumor growth and proliferation.

Constant light may act on cancer through direct actions of depressed melatonin levels or through secondary endocrine modulation associated with either light exposure resulting from light exposure and/or sleep disruption [63,65]. The 'melatonin hypothesis' suggests that reduced pineal melatonin secretion might increase the risk of breast cancer through an interaction with high levels of estrogen, a known promoter of breast tissue proliferation [75]. Melatonin suppresses estrogen secretion in several species of mammals [76]. Melatonin completely blocks estradiol-induced stimulation of breast cancer cell proliferation, and melatonin loses its antiproliferative effects unless cells are co-cultured with estradiol or prolactin [77]. As mentioned, melatonin acts as a potent antioxidant, and thus may normally protect against estradiol-induced oxidative damage that could result in cancer (reviewed in [78]). Alternatively, melatonin may prevent the estradiol-induced suppression of the cell-mediated immune response, providing immunological protection against cancer development (reviewed in [78]). Estradiol is also responsible for upregulating telomerase activity, and melatonin may inhibit these effects. Thus, suppression of melatonin after exposure to constant light would inhibit these anti-cancer effects. Despite this evidence, rats exposed to constant light did not increase serum estradiol concentrations [62,68]. Furthermore, ovariectomy and estrogen treatment did not affect tumor formation [68]. Thus, although the 'melatonin hypothesis' seems plausible, current evidence suggests that light exposure likely acts on tumor formation and growth through one or more alternative mechanisms.

Ecological implications

Physiological responses to artificial light exposure result not only in the medical conditions listed above, but also in large-scale ecological changes. Natural departures from the rhythmic light:dark cycle, such as changes in the lunar cycle and white nights in the arctic region of the world, evoke a multitude of physiological and behavioral changes within animals experiencing them [79] (and see below). Because sky glow resulting from artificial lighting in urban environments can reach levels that exceed those seen in natural twilight [16], similar physiological and behavioral phenomena may result, altering reproductive activities, predator/

prey interactions, and even orientation capabilities. Such alterations in natural activities can result in large-scale ecological changes, and alterations in the survival of key species in the environment (See [80] for an excellent additional detailed review addressing ecological light pollution).

Reproduction

It has been well-established that the timing of breeding in wild animals could be altered by artificial lighting. For example, it has been known for centuries that domestic hens (*Gallus domesticus*) could be stimulated to lay more eggs during the winter by putting lights in the coops at night [81]. In one of the first studies of the effects of photoperiod on vertebrate biology, Rowan [82] exposed juncos (*Junco hyemalis*), maintained in outdoor aviaries in Edmonton, Alberta, to several minutes of electric illumination after the onset of dark each day (lights were illuminated at sunset) during the winter. Under these artificial lighting conditions, these birds came into reproductive condition despite the harsh Canadian winter temperatures. Thus, artificial lights were sufficient to adjust the reproductive phenotype of these birds to mimic summer-like conditions. Similarly, the initial demonstration that photoperiod regulates mammalian reproduction was reported for European field voles (*Microtus agrestis*) that received artificial illumination after the onset of dark [83]. Again, artificial illumination effectively mimicked natural light sources.

Given the level of control that variation in light cycles can exert on reproductive physiology and behavior, exposure to lighting durations beyond normal limits can impose disruptive effects on these processes. Melatonin, for example, has well-documented effects on reproductive behavior and physiology in many species [76], and exposure to extended periods of light depress production of pineal melatonin [28-31]. Such effects may mediate the documented changes in the reproductive systems of animals in response to extended exposure to light. For example, persistent exposure to constant dim light suspends estrous cycles in rats and induces persistent estrus [84]. Such disruption reduces fertility [80] by inhibiting periovulatory gonadotropin surges [85,86] and elevating plasma prolactin and estrogen concentrations [32,84,87]. Similarly, exposure of male South Indian gerbils (*Tatera indica cuvieri*) to constant light diminished reproductive efficiency, decreasing reproductive organ masses, epididymal sperm counts, and the proportion of ejaculating males [88]. Maintenance in constant light is a well-documented way of interrupting incubation in turkey hens, and results in significantly elevated prolactin concentrations in circulation [89] and trout exposed to either constant or 18 h of light advanced spawning up to 2 months compared with control fish exposed to ambient light [90]. Such changes in the timing of reproduction could disrupt synchrony of the breeding cycle in relation to changing environmental variables, such as temperature. In cases where sky brightness never gets below the level of a typical nautical twilight [16], reproductive disruption is a clear possibility for a number of species.

Evidence that light pollution and exposure to artificial lighting disrupts reproductive activities in the wild has been demonstrated in studies examining behaviors and activities associated with reproduction in a wide range of species. For example, artificial illumination influenced territorial singing behavior in mockingbirds (*Mimus polyglottos*); after mating, male mockingbirds only sang in artificially lighted areas, or during the full moon ([91]; reviewed in [80]). In frogs, male mating calls may be disrupted by artificial lighting, and female frogs *Physalaemus pustulosus*, are less selective about mate choice and mate earlier under increased lighting levels. It has been suggested that advancing reproduction is a method of avoiding predation due to extended exposure under well-lit conditions (reviewed in [80]). Black-tailed godwits (*Limosa l. limosa*) based their choices of nesting sites according to roadway lighting, choosing to nest approximately 300 m away from artificial roadway lighting (reviewed in [80]). Such disruptive effects of artificial lighting even extend into invertebrate animal classes. Female glowworms, for example, attract males with visual flashes that are less visible in lighted environments (reviewed in [80]). Interruptions in such critical reproductive behaviors mediated by exposure to artificial lighting could exert significant fitness consequences for a wide variety of animal species.

Foraging and predation

Predator-prey interactions are important determinants of many decisions made by animals, ranging from foraging behavior to mate choice (reviewed in [92,93]). It is well established that dynamics of predator-prey interactions change as a function of ambient light levels. For example, foraging behavior decreases during high lunar illumination in desert and temperate rodents [94,95], fruit eating bats (*Artibeus jamaicensis*) [96], small seabirds [93], and even in nonvisual predators, such as scorpions (*Buthus occitanus*) [97]. Light drives a number of animals to make activity decisions either directly by changing the risk of being seen by a predator (Predation Risk Hypothesis, reviewed in [93]) or indirectly by altering prey availability and thus changing the payoff of foraging during times of high illumination (Foraging Efficiency Hypothesis [98]). These ideas are not mutually exclusive and in some cases, illumination has both direct and indirect effects. For example, foraging efficiency of short-eared owls (*Asio flammeus*) increases in bright moonlight and, at the same time, the activity levels and foraging behavior of their prey, deer mice (*P. maniculatus*) decreases presumably to avoid the increased risk of being eaten in a highly illuminated environment [94]. Similarly, variation in light levels produces a significant shift in the capture rates of prey by the lined seahorse (*Hippocampus erectus* Perry) [99]. Thus, changes in illumination levels affect not only the behaviors of predators, but also the behaviors of their prey as well as any other species directly linked to their prey. Such a phenomenon could result in large-scale ecosystem changes (see [80] for review).

In some parts of the world, sky brightness resulting from urban sky glow is even greater than nights with a full moon [16]. Thus, if natural lunar cycles exert such dramatic effects on predator-prey interactions, then artificial light resulting

from sky glow could have equal, if not more dramatic, changes on ecological dynamics. Indeed, artificial lighting exerts strong effects on foraging behavior and predation. For example, artificial illumination increased the predatory risk for and reduced foraging behavior in three rodent species, including the Arizona pocket mouse (*Perognathus amplus*), Bailey's pocket mouse (*Perognathus baileyi*), and Merriam's kangaroo rat (*Dipodomys merriami*) [100]. Similar results were obtained in additional species of desert rodents [6] and artificial illumination also affects the foraging behavior of petrels [98].

In some cases, high levels of illumination are purposely used by animals to aid foraging abilities. Foraging northern bats (*Eptesicus nilssonii*) in Sweden are attracted to illuminated roadways in the Spring [101]. The numbers of insects congregating and bats foraging around three types of street lamps was monitored in one study [102]: 125 W Hg lamps which give off a bluish-white light, 100 W high pressure Na lamps which give off a light orange light, and 100 W low pressure Na lamps which give off a deep orange light. Insects were most abundant around the bluish-white light, and also significantly abundant around the light orange light, whereas insect numbers around the deep orange light were similar to lamps that were turned off. Additionally, several bat species foraged more in the areas illuminated by the bluish-white and light orange lights [103]. Thus, bright streetlamps emitting light in the blue wavelengths draws many insects towards a high risk of predation, and abundance of these lighting sources could result in a change in the survival and propagation of many insect species. The mechanistic basis for such changes in foraging behaviors remains elusive for most species. In some species of birds, constant lighting may alter foraging activities through the alteration of natural melatonin rhythms [104] and melatonin has also been shown to regulate food intake in mammals (reviewed in [26]). Thus changes in melatonin levels and/or other physiological signals resulting from constant light exposure may regulate foraging behavior in other species as well. The implications for large-scale ecological impacts resulting from artificial illumination in this manner are clear.

Migration and orientation

Migration is a critical event in the lives of many animals and is often necessary for successful reproduction and survival. Changes in ambient illumination drive migration patterns in a variety of species [82,103,105-107]. Silver eels (*Anguilla anguilla* L.), for example, exhibit 'light shyness' because they cease 'running' (migrating) when lunar illumination levels are high [108]. In salmonid fishes, exposure to the new moon triggers a thyroxine surge that is thought to trigger the onset of migration towards the sea [109]. Many aquatic invertebrates exhibit 'diel vertical migration', movement up and down the water column, according to changes in lunar illumination; some species of zooplankton and shrimp avoid surface water layers in response to light dimmer than that of a half moon (reviewed in [80]).

Exposure to sky glow and artificial lighting that is currently common can have severe effects on the migratory patterns of animals. Changes in migration patterns in

response to artificial light exposure were documented long ago in crows (*Corvus brachyrhynchos*) [82] and in some cases, migrating birds become attracted to and disoriented by artificial night lighting (reviewed in [80]). Silver eel (*Anguilla anguilla* L.) exposed to underwater electric lighting ceased migrating [107] and disruption of the circadian clock of monarch butterflies (*Danaus plexippus*) interfered with their orientation direction during migration [103]. Exposure of the zooplankton *Daphnia* to urban light pollution in the wild decreased the magnitude of migratory movements and the number of migrating individuals [106]. One markedly disruptive form of light pollution interference is the effect of artificial light on hatchling sea turtles. After hatching, sea turtles orient themselves towards the sea using a visual cue – they move away from the shadowy backdrop of the low sand dunes. Artificial lighting associated with beachfront urbanization removes that visual cue and disorients the young sea turtles [110].

The mechanistic basis behind such changes in migratory patterns and behaviors remains to be elucidated; however, studies in birds have shown that melatonin plays a crucial role in the timing and orientation aspects of avian migration [111,112]. Thus, changes in migratory behavior may result from alterations in melatonin levels or other circadian and seasonally based physiological signals. Changes in the timing and/or efficiency of migration and general orientation can be detrimental in terms of both survival and reproduction. Even low levels of artificial lighting effectively mimic the natural influences of the lunar cycle. Urban sky glow causes sky brightening long distances from the original lighting source, potentially affecting migrating individuals kilometers away [15]. Such large-scale changes could have drastic ecological impacts.

Future directions

Irregular light/dark patterns are now being considered as endocrine disruptors [45]. Indeed, the material summarized in this review illustrates a multitude of physiological effects, most of which occur through endocrine pathways after exposure to extended periods of light. Should exposure to light be regulated as endocrine disrupting compounds in the environment? Proposals have been put forth to decrease levels of urban sky glow through light shields, reduction in the number of lights, as well as through an adjustment of the color spectrum produced by external lighting towards low-level red lighting and away from the highly disruptive high-energy blue lighting. It is clear that increasing levels of urban sky glow can have serious medical and ecological repercussions (Fig. 1). Additionally, elevated numbers of night shifts worked could result in large-scale incidences of metabolic disorders, immunosuppression, oxidative stress, and cancer. Future work should examine both the epidemiological end-points associated with exposure to light pollution and circadian disruption, as well as the endocrine mediators that may be involved. A thorough understanding of the mechanisms by which exposure to unnatural patterns of light may alter specific components of physiology and behavior could be useful towards the implementation of plans to combat large-scale medical and ecological

disruptions associated with disturbances in the natural light cycle.

Acknowledgements

We would like to thank L. Martin, B. Trainor, and Z. Weil for help with valuable comments on this manuscript. This work was funded by NIH grants MH57535 and MH66144 and NSF grant IBN04-16897. KJ Navara was supported by NRSA T32 AI055411.

References

- BARTNESS TJ, DEMAS GE, SONG CK. Seasonal changes in adiposity: the roles of the photoperiod, melatonin and other hormones, and sympathetic nervous system. *Exp Biol Med* 2002; **227**:363-376.
- NELSON RJ, DEMAS GE. Seasonal changes in immune function. *Q Rev Biol* 1996; **71**:511-548.
- DAWSON A, KING VM, BENTLEY GE et al. Photoperiodic control of seasonality in birds. *J Biol Rhythms* 2001; **16**:365-380.
- BRIGHAM MR, BARCLAY RMR. Lunar influence on foraging and nesting activity of common poorwills (*Phalaenoptilus nuttallii*). *Auk* 1992; **109**:315-320.
- BRIGHAM MR, GUTSELL RCA, GEISER F et al. Foraging behavior in relation to the lunar cycle by Australian owl-nightjars *Aegotheles cristatus*. *Emu* 1999; **99**:253-261.
- KOTLER BP. Risk of predation and the structure of desert rodent communities. *Ecology* 1984; **65**:689-701.
- GANNON MR, WELIG MR. The effect of lunar illumination on movement and activity of the red fig-eating bat (*Stenoderma rufum*). *Biotropica* 1997; **29**:525-529.
- HORNING H, TRILLMICH F. Lunar cycles in diel prey migrations exert a stronger effect on the diving of juveniles than adult Galapagos fur seals. *Proc R Soc Lond B* 1999; **266**:1127-1132.
- GUCHHAIT P, HALDAR C. Circadian rhythms of melatonin and sex steroids in a nocturnal bird, Indian spotted owl *Athene brama* during reproductively active and inactive phases. *Biol Rhythm Res* 1999; **30**:508-516.
- LAMBA VJ, GOSWAMI SV, SUNDARARAJ BI. Circannual and circadian variations in plasma levels of steroids (cortisol, estradiol-17beta, estrone, and testosterone) correlated with the annual gonadal cycle in the catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch). *Gen Comp Endocrinol* 1983; **50**:205-225.
- PLYMATE SR, TENOVER JS, BREMNER WJ. Circadian variation in testosterone, sex hormone-binding globulin, and calculated non-sex hormone-binding globulin bound testosterone in healthy young and elderly men. *J Androl* 1989; **10**:366-371.
- ATKINSON HC, WADDELL BJ. Circadian variation in basal plasma corticosterone and adrenocorticotropin in the rat: sexual dimorphism and changes across the estrous cycle. *Endocrinology* 1997; **138**:3842-3848.
- WADA M. Circadian rhythms of testosterone-dependent behaviors, crowing and locomotor activity, in male Japanese quail. *J Comp Physiol A* 2004; **158**:17-25.
- DINNEEN S, ALZAIID A, MILES J et al. Metabolic effects of the nocturnal rise in cortisol on carbohydrate metabolism in normal humans. *J Clin Invest* 1993; **92**:2293-2299.
- ALBERS S, DURISCOE D. Modeling light pollution from population data and implications for National Park Service lands. *George Wright Forum* 2001; **18**:56-68.
- CINZANO P, FALCHI F, ELVIDGE C. The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Mon Not R Astron Soc* 2001; **328**:689-707.
- PAULEY SM. Lighting for the human circadian clock: recent research indicates lighting has become a public health issue. *Med Hypotheses* 2004; **63**:588-596.
- THAPAN K, ARENDT J, SKENE DJ. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor in humans. *J Physiol* 2001; **535**:261-267.
- SHIELDS M. Shift work and health. *Health Rep* 2002; **13**:11-33.
- RAJARATNAM S, ARENDT J. Health in a 24-h society. *Lancet* 2001; **358**:999-1005.
- LEHMAN MN, SILVER R, GLADSTONE WR et al. Circadian rhythmicity restored by neural transplant. Immunocytochemical characterization of the graft and its integration with the host brain. *J Neurosci* 1987; **7**:1626-1638.
- MOORE RY, EICHLER BV. Loss of a circadian adrenal corticosterone rhythm following suprachiasmatic lesions in the rat. *Brain Res* 1972; **438**:374-378.
- SHIBATA S, MOORE RY. Electrical and metabolic activity of the suprachiasmatic nucleus neurons in hamster hypothalamic slices. *Brain Res* 1988; **438**:374-378.
- STEPHAN FK, ZUCKER I. Circadian rhythms in drinking behavior and locomotor activities are eliminated by hypothalamic lesions. *PNAS* 1972; **69**:1583-1586.
- PROVENCIO I, COOPER HM, FOSTER RG. Retinal projections in mice with inherited retinal degeneration: implications for circadian photoentrainment. *J Comp Neurol* 1998; **395**:417-439.
- NELSON RJ, DRAZEN DL. Melatonin mediates seasonal adjustments in immune function. *Reprod Nutr Dev* 1999; **39**:383-398.
- PRENDERGAST BJ, NELSON RJ, ZUCKER I. Mammalian seasonal rhythms: behavior and neuroendocrine substrates. In: *Hormones Brain and Behavior*. Pfaff DW, ed. Elsevier Science, San Diego, CA, 2002; pp. 93-156.
- BAYDAŞ G, ERÇEL E, CANATAN H et al. Effect of melatonin on oxidative status of rat brain, liver, and kidney tissues under constant light exposure. *Cell Biochem Funct* 2001; **19**:37-41.
- FALCON J, MARMILLON JB, CLAUSTRAT B et al. Regulation of melatonin secretion in a photoreceptive pineal organ: an in vitro study in the pike. *J Neurosci* 1989; **9**:1943-1950.
- YAMADA H, OSHIMA I, SATO K et al. Loss of the circadian rhythms of locomotor activity, food intake, and plasma melatonin concentration induced by constant bright light in the pigeon (*Columba livia*). *J Comp Physiol A* 1988; **163**:459-463.
- ZEITZER JM, DIJK D, KRONAUER RE et al. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *J Physiol* 2000; **526**:695-702.
- VATICON MD, FERNANDEZ-GALEZ C, ESQUFINO A et al. Effects of constant light on prolactin secretion in adult female rats. *Horm Res* 1980; **12**:277-288.
- LEPROULT R, COLECCHIA EF, L'hermite-Balé R et al. Transition from dim to bright light in the morning induces an immediate elevation of cortisol levels. *J Clin Endocrinol Metab* 2001; **86**:151-157.
- SCHEVING LE, PAULY JE. Effect of light on corticosterone levels in plasma of rats. *Am J Physiol* 1966; **210**:1112-1117.
- FISCHMAN AJ, KASTIN AJ, GRAF MV et al. Constant light and dark affect the circadian rhythm of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis. *Neuroendocrinology* 1988; **47**:309-316.

36. SNYDER SH, ZWEIG M, AXELROD J et al. Control of the circadian rhythm of serotonin content in the rat pineal gland. *PNAS* 1965; **53**:301-305.
37. SCHERNHAMMER ES, KROENKE CH, DOWSETT M et al. Urinary 6-sulfatoxymelatonin levels and their correlation with lifestyle factors and steroid hormone levels. *J Pineal Res* 2006; **40**:116-124.
38. SCHULMEISTER K, WEBER M, BOGNER W et al. Application of melatonin action spectra on practical lighting issues. In: Final Report. The Fifth International LRO Lighting Research Symposium, Light and Human Health, November 3-5, 2002. Report No. 1009370. Palo Alto, CA: The Electric Power Research Institute, 2004; pp. 103-114.
39. MUSTONEN AM, NIEMINEN P, HYYVARINEN H. Effects of continuous light and melatonin treatment on energy metabolism of the rat. *J Endocr Invest* 2002; **25**:716-723.
40. ROBBINS K, ADEKUNMISI AA, SHIRLEY HV. The effect of light regime on growth and pattern of fat accretion of broiler chickens. *Growth* 1984; **48**:269-277.
41. RODRIGUEZ MI, CARRETERO M, ESCAMES G et al. Chronic melatonin treatment prevents age-dependent cardiac mitochondrial dysfunction in senescence-accelerated mice. *Free Radic Res* 2007; **41**:15-24.
42. HAUS E, SMOLENSKY M. Biological clocks and shift work: circadian dysregulation and potential long-term effects. *Cancer Causes Control* 2006; **17**:489-500.
43. BASS J, TUREK FW. Sleepless in America: a pathway to obesity and the metabolic syndrome? *Arch Intern Med* 2005; **165**:15-16.
44. BRUGGER P, MARKIL W, HEROLD M. Impaired nocturnal secretion of melatonin in coronary heart disease. *Lancet* 1995; **345**:1408.
45. BULLOUGH JD, REA MS, FIGUEIRO MG. Of mice and women: light as a circadian stimulus in breast cancer research. *Cancer Causes Control* 2006; **17**:375-383.
46. REITER RJ, TAN DX, OSUNA C et al. Actions of melatonin in the reduction of oxidative stress. *J Biomed Sci* 2000; **7**:444-458.
47. TAN DX, MANCHESTER LC, TERRON MP et al. One molecule, many derivatives: a never-ending interaction with melatonin with reactive oxygen and nitrogen species? *J Pineal Res* 2007; **42**:28-42.
48. CRUZ A, PADILLO FJ, GRANADOS J et al. Effect of melatonin on cholestatic oxidative stress under constant light exposure. *Cell Biochem Funct* 2003; **21**:377-380.
49. RODRIGUEZ C, MAYO JC, SAINZ RM et al. Regulation of antioxidant enzymes: a significant role for melatonin. *J Pineal Res* 2004; **36**:1-9.
50. BENOT S, GOBERNA R, REITER RJ et al. Physiological levels of melatonin contribute to the antioxidant capacity of human serum. *J Pineal Res* 1999; **27**:59-64.
51. TÚNEZ I, MUÑOZ M, FEIJOO M et al. Melatonin effect on renal oxidative stress under constant light exposure. *Cell Biochem Funct* 2003; **21**:35-40.
52. URATA Y, HONMA S, GOTO S et al. Melatonin induces gamma-glutamylcysteine synthetase mediated by activator protein-1 in human vascular endothelial cells. *Free Radic Biol Med* 1999; **27**:838-847.
53. D'almeida V, LOBO LL, HIPOLIDE DC et al. Sleep deprivation induces brain region-specific decreases in glutathione levels. *Neuroreport* 1998; **9**:2853-2856.
54. MOORE CB, SIOPES TD. Effects of lighting conditions and melatonin supplementation on the cellular and humoral immune responses in Japanese quail *Coturnix coturnix japonica*. *Gen Comp Endocrinol* 2000; **119**:95-104.
55. KIRBY JD, FROMAN DP. Research note: evaluation of humoral and delayed hypersensitivity responses in cockerels reared under constant light or a twelve hour light: twelve hour dark photoperiod. *Poult Sci* 1991; **70**:2375-2378.
56. OISHI K, SHIBUSAWA K, KAKAZU H et al. Extended light exposure suppresses nocturnal increases in cytotoxic activity of splenic natural killer cells in rats. *Biol Rhythm Res* 2006; **37**:21-35.
57. VAUGHAN MK, HUBBARD GB, CHAMPNEY TH et al. Splenic hypertrophy and extramedullary hematopoiesis induced in male Syrian hamsters by short photoperiod or melatonin injections and reversed by melatonin pellets or pinealectomy. *Am J Anat* 1987; **179**:131-136.
58. REFII-EL-IDRISSI M, CALVO JR, GIORDANO M et al. Specific binding of 2-[125I]iodomelatonin by rat spleen crude membranes: day-night variations and effect of pinealectomy and continuous light exposure. *J Pineal Res* 1996; **20**:33-38.
59. CARRILLO-VICO A, GUERRERO JM, LARDONE PJ et al. A review of the multiple actions of melatonin on the immune system. *Endocrine* 2005; **27**:189-200.
60. MOLDOFSKY H, LUE FA, DAVIDSON JR et al. Effects of sleep deprivation on human immune function. *FASEB J* 1989; **3**:1972-1977.
61. MEERLO P, KOEHL M, VAN DER BORGHT K et al. Sleep restriction alters the hypothalamic-pituitary-adrenal response to stress. *J Neuroendocrinol* 2002; **14**:397-402.
62. BLASK DE, BRAINARD G, DAUCHY R et al. Melatonin-depleted blood from premenopausal women exposed to light at night stimulates growth of human breast cancer xenografts in nude rats. *Cancer Res* 2005; **65**:11174-11184.
63. SCHERNHAMMER E, SCHULMEISTER K. Melatonin and cancer risk: does light at night compromise physiologic cancer protection by lowering serum melatonin levels? *Br J Cancer* 2004; **90**:941-943.
64. HANSEN J. Increased breast cancer risk among women who work predominantly at night. *Epidemiology* 2001; **12**:74-77.
65. HANSEN J. Light at night, shiftwork, and breast cancer risk. *J Natl Cancer Inst* 2001; **93**:1513-1515.
66. DAVIS R. Light exposure and breast cancer. *Epidemiology* 1991; **2**:458-459.
67. SCHERNHAMMER E, LADEN F, SPEIZER FE et al. Rotating night shifts and risk of breast cancer in women participating in the nurses' health study. *J Natl Cancer Inst* 2001; **93**:1563-1568.
68. NELSON RJ, BLOM J. Photoperiodic effects on tumor development and immune function. *J Biol Rhythms* 1994; **9**:233-249.
69. BLASK DE, SAUER L, DAUCHY R. Melatonin as a chronobiotic/anticancer agent: cellular, biochemical, and molecular mechanisms of action and their implications for circadian-based cancer therapy. *Curr Top Med Chem* 2002; **2**:113-132.
70. COS S, MEDIAVILLA D, MARTINEZ-CAMPA C et al. Exposure to light-at-night increases the growth of DMBA-induced mammary adenocarcinomas in rats. *Cancer Lett* 2006; **235**:266-271.
71. DAS GUPTA TK, EL-DOMEIRI AA. The influence of pineal ablation and administration of melatonin on growth on growth and spread of hamster melanoma. *J Surg Oncol* 1976; **8**:197-205.
72. LAPIN V, FROWEIN A. Effects of growing tumors on pineal melatonin levels in male rats. *J Neural Transm* 1981; **52**:123-136.

73. TAMARKIN L, COHEN M, ROSELLE D. Melatonin inhibition and pinealectomy enhancement of 7,12-dimethylbenz(a)anthracene induced mammary tumors in the rat. *Cancer Res* 1981; **41**:4432-4436.
74. BARTSCH C, BARTSCH H. The anti-tumor activity of pineal melatonin and cancer enhancing life styles in industrialized societies. *Cancer Causes Control* 2006; **17**:559-571.
75. ANISIMOV V, BATURIN D, POPOVICH I et al. Effect of exposure to light-at-night on life span and spontaneous carcinogenesis in female CBA mice. *Int J Cancer* 2004; **111**:475-479.
76. REITER RJ. The pineal and its hormones in the control of reproduction in mammals. *Endocr Rev* 1980; **1**:109-131.
77. BLASK DE, HILL SM. Effects of melatonin on cancer: studies on MCF-7 human breast cancer cells in culture. *J Neural Transm Suppl* 1986; **21**:433-439.
78. SANCHEZ-BARCELO E, COS S, MEDIAVILLA D et al. Melatonin-estrogen interactions in breast cancer. *J Pineal Res* 2005; **38**:217-222.
79. REIERTH E, VAN't Hof T. Seasonal and daily variation in plasma melatonin in the high-arctic Svalbard Ptarmigan (*Lagopus Mutus Hyperboreus*). *J Biol Rhythms* 1999; **14**:314-319.
80. LONGCORE T, RICH C. Ecological light pollution. *Front Ecol Environ* 2004; **2**:191-198.
81. BURGER JW. A review of experimental investigations on seasonal reproduction in birds. *Wilson Bull* 1949; **61**:211-230.
82. ROWAN W. Relation of light to bird migration and developmental changes. *Nature* 1925; **115**:494-495.
83. BAKER JR, RANSON RM. Factors affecting the breeding of the field mouse (*Microtus agrestis*). Part I. Light. *Proc R Soc Lond* 1932; **110**:313-323.
84. FISKE VM. Effect of light on sexual maturation, estrous cycles, and anterior pituitary of the rat. *Endocrinology* 1941; **29**:187-196.
85. LAWTON I, SCHWARTZ NB. Pituitary-ovarian function in rats exposed to constant light: a chronological study. *Endocrinology* 1967; **81**:497-508.
86. MCCORMACK CE, SRIDARIAN R. Timing of ovulation in rats during exposure to constant light: evidence for a circadian rhythm of luteinizing hormone secretion. *J Endocrinol* 1978; **76**:135-144.
87. PIACSEK BE, MEITES J. Reinitiation of gonadotropin release in underfed rats by constant light or epinephrine. *Endocrinology* 1967; **81**:535-541.
88. THOMAS BB, OOMMAN MM. Constant light and blinding effects on reproduction of male South Indian gerbils. *J Exp Zool* 2001; **289**:59-65.
89. PROUDMAN JA, OPEL H. Turkey prolactin: validation of a radioimmunoassay and measurement of changes associated with broodiness. *Biol Reprod* 1981; **25**:573-580.
90. DUSTON J, BROMAGE N. Photoperiodic mechanisms and rhythms of reproduction in the female trout. *Fish Physiol Biochem* 1986; **2**:35-51.
91. DERRICKSON KC. Variation in repertoire presentation in northern mockingbirds. *Condor* 1988; **90**:592-606.
92. LIMA SL. Putting predators back into behavioral predator-prey interactions. *TREE* 2002; **17**:70-75.
93. MOUGEOT F, BRETAGNOLLE V. Predation risk and moonlight avoidance in nocturnal seabirds. *J Avian Biol* 2000; **31**:376-386.
94. CLARKE JA. Moonlight's influence on predator/prey interactions between short eared owls (*Asio flammeus*) and deer mice (*Peromyscus maniculatus*). *Behav Ecol Sociobiol* 1983; **13**:205-209.
95. DALY M, BEHREND PR, WILSON MI et al. Behavioural modulation of predation risk: moonlight avoidance and crepuscular compensation in a nocturnal desert rodent, *Dipodomys merriami*. *Anim Behav* 1992; **44**:1-9.
96. MORRISON DW. Lunar phobia in the neotropical fruit bat, *Artibeus jamaicensis* (Chiroptera: Phyllostomidae). *Anim Behav* 1978; **26**:852-855.
97. SKUTELSKY O. Predation risk and state-dependent foraging in scorpions: effects of moonlight on foraging in the scorpion *Buthus occitanus*. *Anim Behav* 1996; **52**:49-57.
98. IMBER MJ. Behaviour of petrels in relation to the moon and artificial lights. *Notornis* 1975; **22**:302-306.
99. JAMES PL, HECK KL Jr. The effects of habitat complexity and light intensity on ambush predation within a simulated sea-grass habitat. *J Exp Mar Biol Ecol* 1994; **176**:187-200.
100. BROWN JS, KOTLER BP, SMITH RJ et al. The effects of owl predation on the foraging behavior of heteromyid rodents. *Oecologia* 1988; **76**:408-415.
101. RYDELL J. Seasonal use of illuminated areas by foraging northern bats *Eptesicus nilsoni*. *Ecography* 1991; **14**:203-207.
102. RYDELL J. Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. *Funct Ecol* 1992; **6**:744-750.
103. FROY O, GOTTER AL, CASSELMAN AL et al. Illuminating the circadian clock in monarch butterfly migration. *Science* 2003; **300**:1303.
104. TARLOW EM, HAU M, ANDERSON DJ et al. Diel changes in plasma melatonin and corticosterone concentrations in tropical Nazca boobies (*Sula granti*) in relation to moon phase and age. *Gen Comp Endocrinol* 2003; **133**:297-304.
105. GAL G, LOEW ER, RUDSTAM LG et al. Light and diel vertical migration: spectral sensitivity and light avoidance by *Mysis relicta*. *Can J Fish Aquat Sci* 1999; **56**:311-322.
106. MOORE MV, PIERCE SM, WALSH HM et al. Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. *Verh Int Verein Limnol* 2000; **27**:1-4.
107. PETERSEN CGJ. The influence of light on migrations of the eel. *Rep Danish Bio Stat* 1906; **14**:2-9.
108. LOWE RH. The influence of light and other factors on the seaward migration of the silver eel (*Anguilla anguilla* L.). *J Anim Ecol* 1952; **21**:275-309.
109. GRAU EG, DICKHOFF WW, NISHIOKA RS et al. Lunar phasing of the thyroxine surge preparatory to seaward migration of salmonid fish. *Science* 1981; **211**:607-609.
110. SALMON M, WITHERINGTON BE. Artificial lighting and sea-finding by loggerhead hatchlings: evidence for lunar modulation. *Copeia* 1995; **4**:931-938.
111. GWINNER E. Circadian and circannual programmes in avian migration. *J Exp Biol* 1996; **199**:39-48.
112. SCHNEIDER TS, THALAU HP, SEMM P et al. Melatonin is crucial for the migratory orientation of pied flycatchers (*Ficedula hypoleuca pallas*). *J Exp Biol* 1994; **194**:255-262.

R. J. Wainscoat, The Impact of Different Light Sources ... on Astronomy

THE IMPACT OF DIFFERENT LIGHT SOURCES, INCLUDING LEDS, ON ASTRONOMY

Wainscoat, Richard J.¹ and Alvarez del Castillo, Elizabeth M.²

¹ University of Hawaii, Institute for Astronomy

² Kitt Peak National Observatory / National Optical Astronomy Observatory

ABSTRACT

Astronomy is profoundly impacted by artificial lighting of the night sky. The dark night sky has roughly equal components of starlight, zodiacal light (coming from dust in the solar system), and airglow (coming from atoms and molecules in the upper atmosphere that are releasing solar radiation that was earlier absorbed). Even small amounts of artificial light disturb this delicate balance, and overwhelm the starlight. At night, when the moon is up, the sky is blue, just like in the daytime; however, on a dark night, when the moon is set, the natural night sky is greenish-red in color. Since the natural night sky is extremely dark at blue wavelengths, this is an especially critical spectral window to preserve for astronomy research.

Professional astronomers have benefited from the use of sodium light sources. Low-pressure sodium (LPS) lamps emit almost all their light at 589 nm. This monochromatic emission can in some cases be filtered out completely. LPS is by far the best source for protection of astronomy. High-pressure sodium (HPS) lamps emit a broader spectral range centered around 589 nm, with the bulk of the emission coming at green and red wavelengths, and relatively little blue light being emitted. For many years, astronomy benefited from the fact that sodium light sources, with their high energy efficiency, were used widely for outdoor lighting.

The whiter light sources, such as metal halide, and LEDs are becoming more energy efficient and displacing the sodium lamps as the preferred light source in many applications. Some of these light sources, particularly the high color-temperature LEDs, have a very large amount of blue light. They emit light in a part of the spectrum that has previously suffered very little from light pollution.

In unpolluted air, the dominant process that leads to artificial brightening of the night sky (skyglow) is Rayleigh scattering. This is scattering of light by air molecules. It is

strongly wavelength dependent, with a dependency proportional to λ^{-4} . This means that blue light is scattered much more easily than red light.

The blue part of the spectrum is extraordinarily important for many aspects of professional astronomy. The natural darkness in the blue has made this one of the most important windows into the distant universe. Some of the fundamental transitions of the hydrogen atom and other common elements occur in the blue, making the blue part of the spectrum critically important for studies of stars and star formation, galaxies, cosmology, and the solar system.

The shift to broader spectrum bluer light sources produces new challenges to lighting professionals in limiting light pollution. The blue part of the light is much more prone to scattering by the atmosphere so it contributes even more to skyglow. It is not only astronomers who are affected by blue light; many species of animals appear to be more affected by blue and white light compared to redder light sources. Protection of observatories and astronomy will require great care in properly shielding these new bluer lights, and careful choice in where, when, and how much of this type of light is appropriate.

Keywords: astronomy, skyglow, Rayleigh scattering, wavelength dependence, light pollution, dark skies

1. THE NATURAL NIGHT SKY

The natural night sky has a delicate balance in roughly equal amounts between starlight, airglow, and zodiacal light. Airglow, derived from emission from atoms and molecules in the upper atmosphere, is variable depending on solar activity and highest in high latitudes. Extreme high levels correspond to aurorae at high latitudes where there are no observatories. The zodiacal light has structure and is found more in the plane of the ecliptic with the zodiacal constellations. Even telescopes orbiting in outer space must contend with this underlying

00312 VTA

R. J. Wainscoat, The Impact of Different Light Sources ... on Astronomy

background. At world-class observatories on Mauna Kea in Hawaii, faint sources of natural skyglow are revealed when clouds blanket and suppress all light sources below the observatory (Figure 1). On cloudless nights, astronomers contend with light pollution from lights that have not been properly shielded.

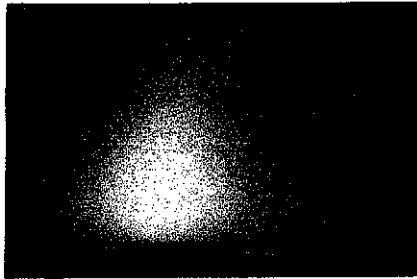


Figure 1. Zodiacal light is evident when low clouds blanket light sources below the world-class Mauna Kea observatories. Photo courtesy of R.J. Wainscoat.

Astronomers do much of their work in the same part of the spectrum that the human eye is sensitive, namely 400-700 nm. Nearly all areas of astronomy benefit from the dark sky below 555 nm. Examples include searches for potentially hazardous asteroids, studies of the formation and structure of galaxies and the universe, and studies of the chemistry of stars and galaxies. Below 400 nm, stars are fainter due to hydrogen absorption; below 310 nm ozone absorption makes the atmosphere opaque. Above 700 nm, the airglow in the atmosphere is much brighter (OH emission). There are only very weak airglow lines shorter than the oxygen 557.7 nm line and Rayleigh scattering of starlight itself is part of the background. The blue part of the night sky spectrum (below 555 nm) is naturally very dark (when the moon is set), and an extremely precious resource for astronomy research. Adding even small amounts of artificial light to the night sky quickly overwhelms the delicate balance of the sources of natural skyglow and makes the starlight hard to see.

2. RAYLEIGH SCATTERING

Artificial light at night is scattered into telescopes by Rayleigh scattering from air molecules and by scattering from dust. Most major observatories are in locations where there is little pollution so Rayleigh scattering is dominant. Rayleigh scattering is inversely proportional to the wavelength to

the fourth power (λ^{-4}). This strong wavelength dependence is why the daytime sky is blue. ***This wavelength dependence also makes astronomy observations much more sensitive to blue and white light than to redder light sources.***

3. SPECTRA OF COMMON LIGHT SOURCES AND THEIR IMPACT

Astronomers have long benefited from the high energy-efficiency of two common types of sodium lamps. Low-pressure sodium, with nearly monochromatic emission at 589 nm is the ideal light source for astronomy; it can be filtered out in some applications, such as imaging through a blue green filter: 400-550 nm. High-pressure sodium (Figure 2), with broader emission centered at 589 nm, is a reasonable compromise for astronomy when the application requires a broader spectrum light source.

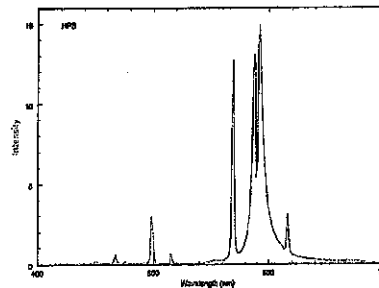


Figure 2. High-pressure sodium (HPS) lamps emit a spectral range centered around 589 nm, with the bulk of emission at green and red wavelengths, and relatively little blue light being emitted. ***On all plots in this paper, the x axis spans 400 - 700nm.***

Lick Observatory near San Jose, CA, located at a wonderful site in terms of atmospheric conditions, has been seriously degraded by light pollution. Many lamps near the observatory have not been properly shielded, and the effects are clear.

R. J. Wainscoat, The Impact of Different Light Sources ... on Astronomy

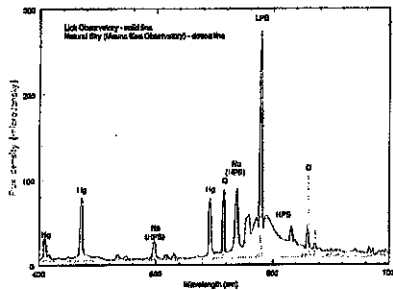


Figure 3. The night sky spectrum from a light polluted observatory (solid line) compared to Mauna Kea's sky spectrum (dotted line). LPS, HPS, and Mercury lines from artificial light sources are seen.

LPS, HPS, and Mercury lines are seen in the night sky spectrum shown in Figure 3. Spectroscopy of faint objects near the bright sodium and mercury lines is very difficult from Lick, and requires very long exposure times (20 or more times longer than at an unpolluted site). Broadband imaging takes much longer from Lick because of the bright night sky (2 to 4 times longer depending on the filter used). Hence, some astronomy can no longer be done at Lick Observatory.

The worst light source for astronomy is the mercury lamp that has a lot of emission in the violet and blue (Figure 4). Since it is not an energy-efficient light source, it is no longer used widely for many applications, but it is still common in cheap light fixtures commonly purchased by homeowners.

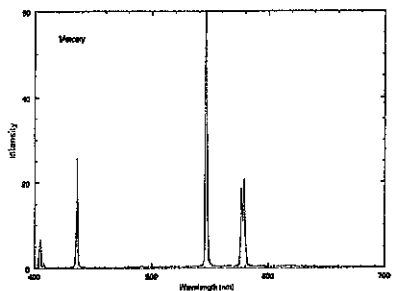


Figure 4. A spectrum from a Mercury Vapor lamp showing emission in the blue that would be harmful to astronomy.

Induction lamps have a spectrum similar to a mercury lamp and are very damaging to astronomy (Figure 5). A lot of energy is emitted in the ultraviolet, violet and blue, wavelengths where the eye is insensitive.

Ultraviolet light also attracts insects and blue light affects animals.

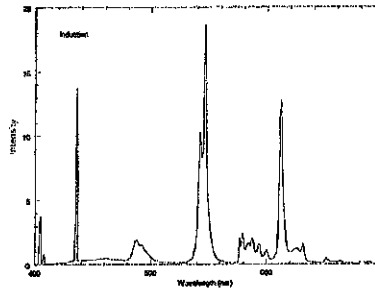


Figure 5. A spectrum from an induction lamp showing emission, similar to a Mercury lamp, at wavelengths that negatively affect astronomy and many animals.

Fluorescent lamps have a mercury spectrum modified by a phosphor to add red and green light (Figure 6). Strong 436 nm emission compromises astronomy at blue wavelengths. Fluorescent lamps with lower Correlated Color Temperature (CCT) are less damaging than high CCT lamps to astronomy and the environment. CCT less than 3000 K reduces blue emissions. Low CCT (< 3000 K) fluorescent lamps are less harmful to astronomy and the environment than mercury and induction lamps.

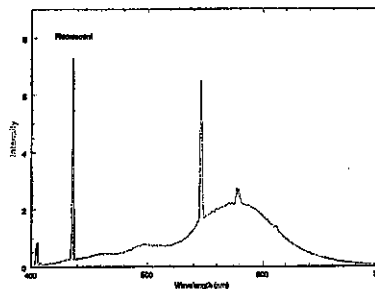


Figure 6. A spectrum from a Fluorescent lamp showing strong emission at blue wavelengths. Emissions from lamps with low CCT are less harmful to astronomy and the environment.

Metal halide lamps are being used much more commonly. They are damaging to astronomy because of their significant blue light (Figure 7) and the associated Rayleigh scattering. The trend of switching from sodium to white light produces more Rayleigh scattering and therefore more sky glow.

00313 VTA

R. J. Wainscoat, The Impact of Different Light Sources ... on Astronomy

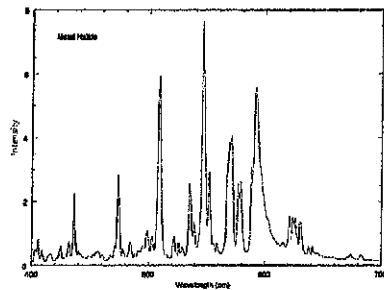


Figure 7. Metal Halide lamps with significant emission in blue interfere with astronomy as well as natural, biological processes.

Most white LEDs coming into common use for outdoor lighting are blue LEDs with a phosphor to emit green and red light. They have a strong blue peak around 450-460 nm (Figure 8). High CCT white LEDs ("cool white") are extremely damaging to astronomy because of the large amount of blue light they emit.

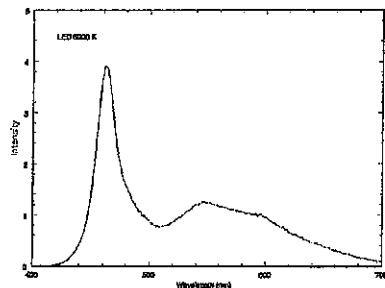


Figure 8. High CCT white LEDs are most damaging to both astronomy and the environment.

Rayleigh scattering of the bright blue emission peak is of great concern to astronomers. Rayleigh scattering of 450 nm light is approximately 3 times that of sodium light near 590 nm (Figures 9 and 11). It is therefore absolutely essential that white LEDs be fully shielded.

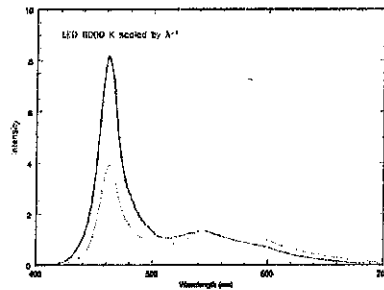


Figure 9. A spectrum of a high CCT LED shown both unscaled (dotted line) and scaled by $(\lambda/555\text{nm})^{-4}$ (solid line).

The blue emission peak corresponds to the peak of sensitivity for melatonin regulation and circadian rhythm control in humans and other species. Lower CCT white LEDs will be less damaging than higher CCT LEDs to astronomy and probably also to the larger environment (Figure 10).

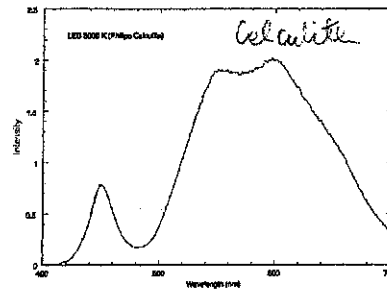


Figure 10. Low CCT LEDs with less emission in the blue and green are less damaging to astronomy.

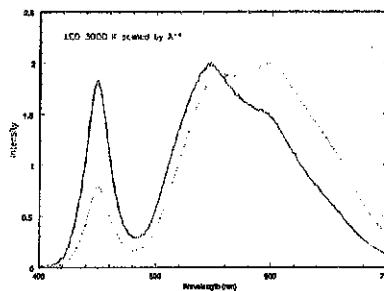
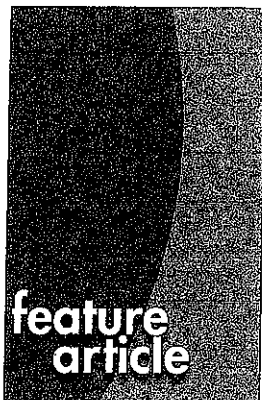


Figure 11. A spectrum of a lower CCT LED shown both unscaled (dotted line) and scaled by $(\lambda/555\text{nm})^{-4}$ (solid line).



Lighting and astronomy

Christian B. Luginbuhl, Constance E. Walker, and Richard J. Wainscoat

The rapid growth of light pollution threatens the future of astronomical observation. Detailed modeling of how light from the ground propagates through the atmosphere suggests ways to limit the damage.

Chris Luginbuhl is an astronomer at the US Naval Observatory Flagstaff Station in Arizona. **Connie Walker** is an associate scientist and education specialist at the National Optical Astronomy Observatory in Arizona and director of both the International Year of Astronomy 2009 Dark Skies Awareness Cornerstone Project and GLOBE at Night. **Richard Wainscoat** is an astronomer at the University of Hawaii and chairman of the International Astronomical Union Commission 50 working group on controlling light pollution.

The sky is fading. Prime sites for astronomical observatories are rare. A stable, clear, dry atmosphere is crucial. Yet many of the best sites worldwide are slowly losing their view of the most distant astronomical objects as more and more stray light appears in the last microseconds of what may have been a 10-billion-year journey. That intruding light comes from outdoor lighting used for roadways, parking lots, advertising, and decoration and from automobile headlights. It gets into the sky, and ultimately into telescopes, either directly from light fixtures or through reflection off the ground or other surfaces, followed by scattering from molecules and aerosols in the atmosphere. Largely because of that stray light, or sky glow, new giant telescopes are being built in the most remote corners of the planet. Yet even those sites are now threatened by artificial light from communities that may be located hundreds of kilometers away, as shown in figure 1.

The projected growth of outdoor lighting, illustrated in figure 2, paints a discouraging picture. Whereas the US population is growing at an average rate of less than 1.5% per year, the amount of artificial light is increasing at an annual rate of 6%. Increases in population, standards of living, and isolation from the natural nighttime environment combine to lead communities and individuals to increase not only the number of situations in which outdoor lighting is deemed necessary but also the amount of light used for many applications. Witness the amount of light commonly seen at service stations today compared with that of only a few decades ago: Lighting levels comparable to or even brighter than those recommended for indoor office work are common. Parking lots are often illuminated 5 to 10 times as brightly as they were 20 years ago. Bright light is becoming a form of advertising.

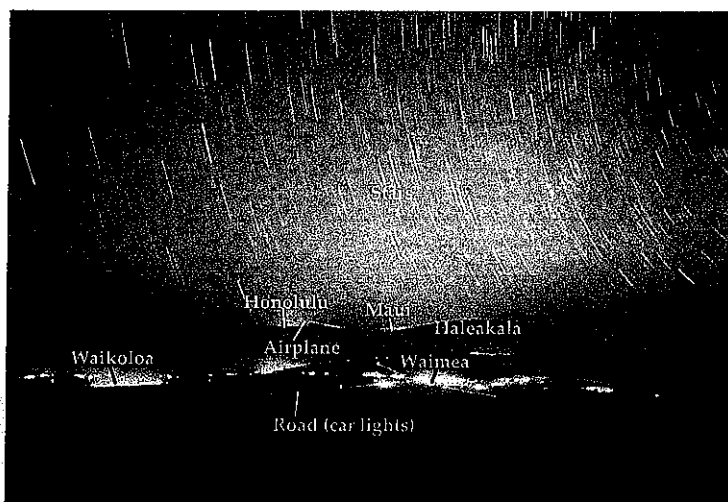
Figure 1. The sky over Mauna Kea, Hawaii, is affected by outdoor lighting in communities from Waimea 30 km away to Honolulu 300 km away. (Photo by Richard Wainscoat.)

Although lighting is rarely installed with the purpose of brightening the sky, even in the best circumstances some fraction of outdoor lighting propagates upward by reflection from the illuminated area. And actual outdoor night lighting rarely represents the best circumstances. Inefficient, careless practices and poorly designed fixtures dramatically increase sky glow through direct upward emission, wasted light falling into areas that do not need illumination, and over-illumination.

Falling back

Astronomers have long been retreating from encroaching lights. As planning began in the 1930s for a new 5-m telescope, planners realized that the Mount Wilson Observatory, home of the then largest telescope (at 2.5 m), already suffered from too much light pollution. A new site on Palomar Mountain was chosen, farther from the lights of the Los Angeles area.

The retreat continued. When the National Observatory was searching for a site in the early 1950s, another remote area was chosen, on Kitt Peak in Arizona, 80 km from Tucson and 170 km from Phoenix, whose populations at the time



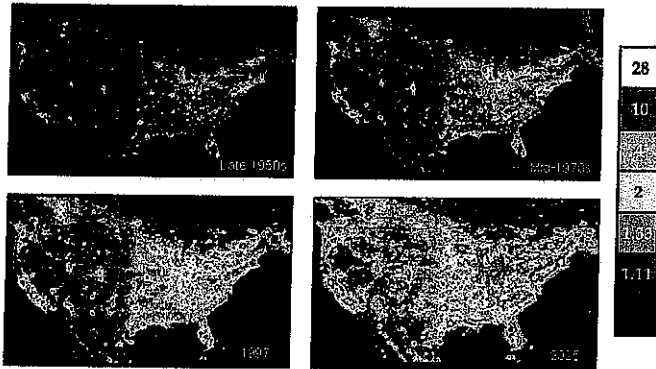


Figure 2. Sky glow over time is estimated by extrapolating 1997 satellite measurements forward and backward using a 6% annual growth rate. That average rate, determined from ground-based measurements of sky brightness, is applied equally to all points; no attempt has been made to model actual growth rates for different regions. The scale shows the brightness normalized by the natural condition; for example, the boundary between blue and green is 33% brighter than the natural sky. (Adapted from ref. 9.)

were about 125 000 and 330 000, respectively. From the 1960s to the present, new telescopes have been built on ever more remote sites in Chile, Arizona, Hawaii, and the Canary Islands. Although the most remote sites currently suffer insignificant light pollution, the prospects for the future are uncertain. There are few high-quality sites for further retreat. The choice of Kitt Peak for the National Observatory was based in part on a general confidence that the desert conditions would limit the growth of southern Arizona communities, but today the Tucson and Phoenix metropolitan areas have populations exceeding 1 million and 4 million, respectively. And populations are rapidly growing near most other observatory sites.

Many people suggest that the next stage of the retreat will follow the *Hubble Space Telescope* into orbit, or even to the Moon. (See the article by Paul Lowman Jr, *PHYSICS TODAY*, November 2006, page 50.) But the enormous—yes, astronomical—costs associated with building and maintaining space-based facilities mean that ground-based telescopes must continue to provide the data for the vast majority of observational astronomical research. *Hubble* catches the eye and imagination of the public, but it catches a very small percentage of the photons that lead to discoveries in astronomy.

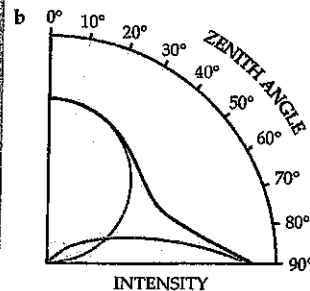
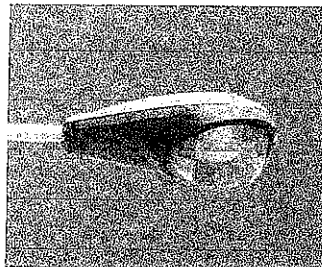
Running the numbers

Although no distinct thresholds of observational capability are crossed as the sky is brightened by artificial lighting, the

effectiveness of telescopes measuring faint sources gradually deteriorates. At the limit in which the source under study is negligibly brighter than the background against which it is observed, a 10% increase in that background means that astronomers need 10% more time to observe the same object with the same signal-to-noise ratio. If sky glow continues to increase, the faintest sources will eventually become unobservable within practical time constraints. During the dark phases of the lunar cycle, the sky over Palomar Observatory is now more than 50% brighter than it would be with no artificial light sources. The effectiveness of the 5-m telescope is thereby reduced to that of a 4-m telescope. (Even with no artificial lighting or moonlight, the sky is not perfectly dark. Natural sky glow in the visible spectrum results primarily from sunlight scattered by dust in the solar system and emission from upper-atmosphere oxygen atoms that were excited by daytime sunlight.)

Quantitative treatment of the relationship between lights and the sky glow they produce began in 1965 when Merle Walker, driven by increasing light pollution over the Lick Observatory on Mount Hamilton, California, undertook an effort to find a new site for observation of very faint objects. Seeking to identify a site with not only good current conditions but also the expectation that encroaching development would not unacceptably brighten the night sky in the foreseeable future, Walker developed a crude estimate of the

Figure 3. (a) A typical light fixture that allows some emission above the horizontal. **(b)** The angular intensity distribution used by Roy Garstang to represent light propagating upward into the sky. The green line represents light emitted directly from fixtures such as the one in panel a, the red line represents light emitted downward and reflected off the ground, and the black line is the sum of the two. (Adapted from ref. 5.)



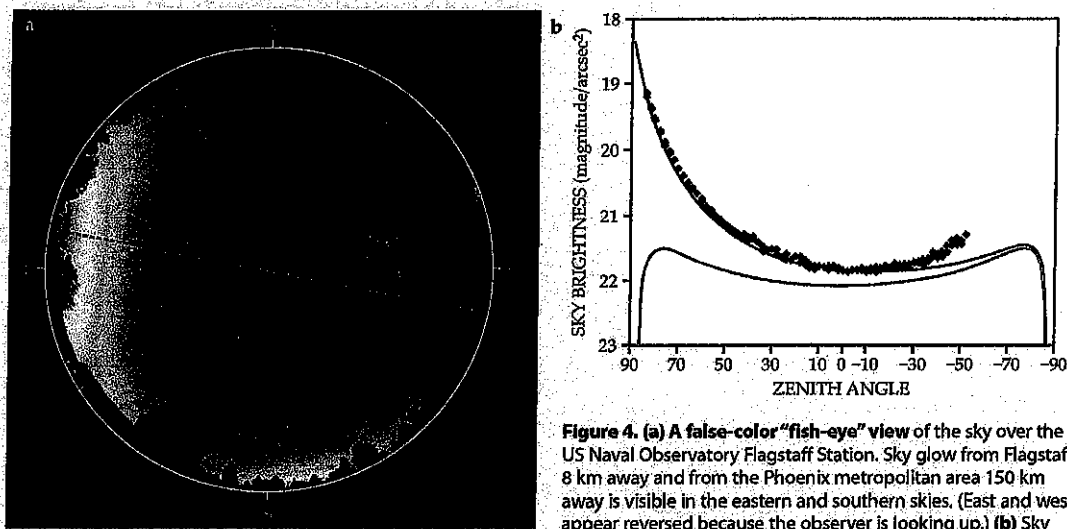


Figure 4. (a) A false-color "fish-eye" view of the sky over the US Naval Observatory Flagstaff Station. Sky glow from Flagstaff 8 km away and from the Phoenix metropolitan area 150 km away is visible in the eastern and southern skies. (East and west appear reversed because the observer is looking up.) (b) Sky brightness along the red dotted line in panel a. The black dia-

monds are measured values. The red line is the natural brightness that would be expected at solar minimum with no artificial light sources or moonlight. The black line is calculated from a model that accounts for the light output from Flagstaff as determined by a lighting survey. Observations in the zenith-angle ranges of -30° to -55° fall in the Milky Way, which is neither removed from the measurements nor included in the model. (Adapted from ref. 5.)

distance a site must be from a city to keep the sky glow below a 10% increase in the natural condition at the zenith. He extended his work in 1977 to develop a general empirical relation, now called Walker's law, between sky brightness, population, and distance.¹ The law states that the sky-glow intensity from a light source is approximately proportional to the distance raised to the -2.5 power. The intensity falls off more quickly than the inverse square primarily because of atmospheric absorption.

A more comprehensive approach came in 1986, when Roy Garstang of the Joint Institute for Laboratory Astrophysics (now JILA) in Boulder, Colorado, published models that treated the scattering of light off molecules and aerosols in the atmosphere, including the variation in the density of molecules and aerosols with altitude.² The models also accounted for Earth's curvature. They have become the standard in the field and have successfully reproduced the variation of sky glow with position in the sky and distance from light sources. What they have not done is relate the sky glow produced by cities to the way lighting is actually used on the ground, such as the number, brightness, and optical characteristics of lighting fixtures. Instead, the models assume a particular angular distribution function based on the shielding of typical light fixtures, shown in figure 3, and the reflection off surfaces of light directed downward. The light output of cities is then empirically adjusted based on limited measures of sky glow.

Using Garstang's models, Pierantonio Cinzano (now at the Light Pollution Science and Technology Institute in Thiene, Italy), his coworkers, and Christopher Elvidge of the National Oceanic and Atmospheric Administration have produced maps of artificial night-sky brightness,³ such as in figure 2; they created the maps by using US Defense Meteorological Satellite Program measurements of light emitted by towns and cities.

Recent work by one of us (Luginbuhl) connects ground-based surveys of lighting amounts and fixture types with Garstang's models to compare the predictions with detailed measurements of sky glow.⁴ With the addition of a treatment for the partial blocking of light emissions due to objects near the ground,⁵ excellent cross-the-sky agreement between model predictions and measures of sky glow has been obtained, as shown in figure 4. It is now possible to understand the effects of different upward angular intensity distributions and spectral characteristics of artificial lighting.

Two topics of current interest in outdoor lighting exemplify the importance of sky-glow models. Members of the lighting profession frequently point out that shielding lighting fixtures incompletely and thereby allowing a few percent of the light output to be directed just above the horizontal will also provide a wider distribution of light in a downward direction. Fixtures could be placed farther apart, and perhaps 10–15% less light could be used to accomplish a given lighting task. At first glance, the tradeoff would appear to be favorable for astronomy. But it raises the question: Does the reduced amount of light from widely spaced fixtures decrease sky glow more than the small amount of light emitted upward increases it? There is also much interest in recent years in broad-spectrum (white) lighting from metal halide and LED sources. What are the implications for astronomy? Answering such questions leads to insight into the nature of the processes that produce light pollution over observatories.

All uplight is not equally polluting

It is qualitatively clear that light directed upward and toward an observatory site has a greater impact on the observatory sky than light directed toward the zenith or away from the observatory. Quantitative analysis, described in box 1, shows that light emission between zenith angles of 60° and 90° (0° to 30° above the horizontal plane) is far more harmful to observatory

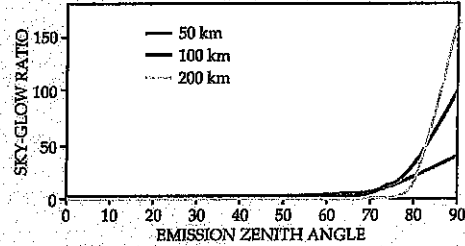
Box 1. Direction matters

To quantify the relationship between upward emission angle and sky glow, we have modeled a series of nine light sources, each emitting light upward into a 10°-wide zone spanning 0°–10°, 10°–20°, ..., 80°–90° from zenith.¹⁰ The light source's altitude is set at 1 km; the observatory altitude, 3 km; and the ratio of total aerosol scattering to molecular scattering, 3:1. That ratio



corresponds to a low aerosol content and a very clear atmosphere, typical of world-class observatory sites. False-color images of the sky glow from three of the angular segments, as seen at an observatory 50 km away, are shown in the figure at left (adapted from reference 10).

Any light source brightens some parts of the sky more than others, but it is convenient to have a single number to represent the glow over the whole sky. One such measure, representative of the parts of the sky most commonly used in astronomical observation, is a weighted average of the sky glow at the zenith and at four points with zenith angle 60°—one toward the light source and the others at 90° intervals in azimuth—with the zenith assigned twice the weight of the other points. That average sky glow is divided by the sky glow produced by an equal amount of light directed downward and reflected off a surface with 15% reflectivity, a typical value. The resulting sky-glow ratio is shown in the figure at right, as a function of the light



source's zenith angle, for observatories 50, 100, and 200 km from the light source.

Of course, a real light source emits light over a range of angles, both above and below the horizontal. The uplight intensity distribution shown in figure 3, from Roy Garstang's models, can be used to represent the upward emission from real light fixtures. The table below shows the resulting sky-glow ratios for fixtures with 1%, 3%, and 10% direct uplight as measured at observatories from 50 to 200 km away. The 3% figure is representative of fixtures commonly discussed in the tradeoff between uplight and pole spacing, as described in the text. The minimum practical limit for partially shielded fixtures is about 1%. Though fractions lower than 1% can be optically designed, the accumulation of dirt and deterioration in the optical surfaces drives the uplight fraction toward 1% or higher as the fixtures age. And light pollution researchers, starting with Garstang, have found 10% to be representative of the average uplight proportion from all fixtures used for outdoor lighting.

Uplight	Sky-glow ratio		
	50 km	100 km	200 km
0%	1.0	1.0	1.0
1%	1.3	1.6	2.0
3%	1.8	2.7	3.9
10%	3.8	6.7	10.6

skies than light directed toward the zenith, even though on average much of the near-horizontal light is directed away from the observatory. And the sky-glow increase from the near-horizontal rays is 6 to 160 times as great as that of an equal flux directed downward and reflected off the ground.

Because most of the upward light emission from incompletely shielded fixtures is directed just above the horizontal, such fixtures have a disproportionate effect on sky glow. From the table in box 1, a fixture with an unshielded fraction of only 3% produces between 80% and 290% more sky glow than a fully shielded fixture with the same light output, with the worst value occurring for the most distant light sources. Startlingly, for a typical community that emits 10% of its light directly upward, direct uplight causes almost three-fourths of the sky glow at an observatory 50 km away and more than nine-tenths at a site 200 km away. Even though the amount of direct uplight (10%) is similar to the amount of light reflected off the ground (90% × 0.15 albedo = 13.5%), direct up-

ward emission produces the majority of artificial sky glow.

Those numbers don't account for the blocking of light by vegetation and structures near the ground. In a model of sky glow over the US Naval Observatory near Flagstaff, Arizona, accounting for such blocking reduced the relative impact of upward emissions by 50–60%. Even so, direct uplight still produced much more sky glow than the same amount of light directed downward. Furthermore, the model did not account for the fact that direct upward emission usually arises from fixtures some distance above the ground, such as on buildings or poles, and may therefore be subject to less blocking than light reflected from the ground.

The answer to the lighting professionals' proposition is clear: The detrimental effect on observatory skies of even 3% direct uplight vastly outweighs the benefit of a 10–15% reduction in the total amount of light. Even if fixtures could be kept to just 1% direct uplight, the competing effects might approximately balance only for observatories located near

cities; for the more distant observatories the detrimental effects still dominate.

A spectrum of light sources

For decades astronomers have naturally favored lighting sources that confine emissions to as narrow a portion of the spectrum as possible. Low-pressure sodium lights are particularly preferred,⁶ because most of their emission is in the sodium resonance doublet near 589 nm, as shown in figure 5. Indeed, they are widely used in several regions near major astronomical observatories. High-pressure sodium lamps are second best: They emit mostly in the yellow portion of the spectrum, but through pressure broadening and the inclusion of other compounds in the discharge arc they produce some light in the red and the blue.

About 20 years ago, heavy marketing pressures and improvements in lamp technology led to the more widespread use of broad-spectrum metal halide sources. More recently, white LEDs have begun to emerge as contenders in the outdoor lighting market, as described in box 2. Their greater efficiency makes them especially attractive to municipalities seeking to use economic stimulus money tied to energy savings.

All such broad-spectrum sources interfere with astronomical observation at more wavelengths than do sodium sources, so they leave essentially no unpolluted windows in the visible spectrum. As a further complication, the shorter wavelengths they emit are much more strongly scattered by molecules in the atmosphere. The potential increase in sky glow from such sources is a concern, although the increased scattering leads also to increased attenuation with distance.

Damage control

Walker, in 1973, identified the critical issue of light pollution facing astronomy:⁷

At the time of their founding, the sites of the present major optical astronomical observatories in California and Arizona were among the best in the world. Now, however, work at all of these

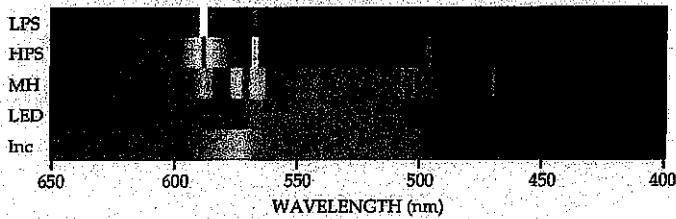


Figure 5. Spectra of representative outdoor lighting sources. Low-pressure sodium (LPS) and high-pressure sodium (HPS) lamps leave large parts of the spectrum relatively unpolluted, whereas the broadband metal halide (MH), white LED, and incandescent (Inc) sources do not.

installations is either presently or potentially limited by the increase in the illumination of the night sky from nearby cities. . . . It is essential that immediate efforts be undertaken to: (1) Control outdoor illumination to lengthen the useful life of existing observatory sites, and (2) Identify and protect the best remaining sites both within and outside the United States.

Today, his words are as true for the remotest observatory sites as they were for California and Arizona 36 years ago.

Astronomers' efforts to address the issue have been ongoing since the late 1950s and are now having some effect. The effort has been aided in recent years by a broadening coalition of interests concerned about the many detrimental effects of artificial light at night: energy waste, poor visibility due to glare, disturbance of biological systems,⁸ and loss of starry skies for casual stargazers. A comprehensive study of lighting in Flagstaff shows that the growth rate of light pollution per person added to the population has been cut approximately in half since 1989, when a stringent outdoor lighting code was adopted that limits the total amount of light permitted. Sky glow continues to increase, but at a slower pace.

Lighting designers and manufacturers are increasingly aware of the many harmful effects of light pollution. Through

Box 2. LEDs for outdoor lighting

The typical white LED used for outdoor lighting is made from a blue LED that emits light at about 450 nm and a phosphor that converts some of the blue light to green and red. White LEDs are typically characterized by their correlated color temperature (CCT), the temperature of the blackbody radiator that most closely resembles the appearance of the LED light.

The blue emission is particularly harmful to astronomers and to the environment. Rayleigh scattering, responsible for the daytime blue sky, has a λ^{-4} wavelength dependence: The 450-nm emission is nearly three times as strongly scattered as is the astronomers' preferred low-pressure sodium emission at 589 nm. Furthermore, wavelengths shorter than 500 nm interfere more strongly with circadian rhythms and melatonin production in humans and other animals. The higher the CCT of a white LED, the more strongly its light is scattered and the larger

the perturbation to biological systems.

Fortunately for astronomers, few people like the appearance of the high-CCT LEDs (5000–6000 K, or daylight color), with many describing them as looking like welding torches. Even so, some municipalities prefer them because they are somewhat more efficient. Other communities, such as Anchorage, Alaska, have specified that white LEDs should not have a CCT higher than that of moonlight (4200 K), but even that approach does not properly account for the fact that the LEDs are more damaging than moonlight due to the blue peak, which is not present in moonlight, and because the Moon is below the horizon during half of the nighttime. Low-CCT white LEDs (3000 K or lower, the color of typical incandescent lamps) are the least harmful to the environment and astronomical observation.

Box 3. The International Year of Astronomy and Dark Skies Awareness



Dark Skies Awareness is a Global Cornerstone Project of the United Nations-sanctioned 2009 International Year of Astronomy. Its goal is to raise the level of public knowledge about adverse effects of excess artificial lighting on local environments and to make more people aware of the ongoing loss of a dark night sky for much of the world's population. Toward that end, a range of programs and resource materials has been developed. One such program is GLOBE at Night, an international citizen-science event that takes place every March to encourage everyone—students, educators, dark-sky advocates, and the general public—to measure the darkness of their local skies and contribute their observations online to a world map. Everyone is invited to participate in GLOBE at Night and the other Dark Skies Awareness programs offered as potential local solutions to a global problem. To learn more, visit <http://www.darkskiesawareness.org>.

extensive educational efforts led by the International Dark-Sky Association (<http://www.darksky.org>) and other similar organizations throughout the world, a greater selection of fully shielded lighting fixtures is becoming available. Trained lighting professionals are using more fully shielded fixtures, at least in areas where the sensitivity to light-pollution issues is high due to heightened environmental sensitivity or the presence of observatories.

Unfortunately, in most areas insufficient awareness of the problems that can arise from lighting at night still leads to poor control of upward emission and lighting amounts. In many places, particularly in small towns and rural areas, the majority of outdoor lighting is not designed by lighting professionals. And outdoor lighting is used for more situations and in greater amounts than it used to be. The best hope for progress is through continuing education, as described in box 3, about the value of a starry sky—a value not just for astronomy and science but for everyone. Nobody ever seems to make the mistake of thinking that Yellowstone National Park and the Grand Canyon are protected just for geologists and rock hounds. Does the vista of a star-filled night sky matter only to astronomers?

References

1. M. Walker, *Publ. Astron. Soc. Pac.* 89, 405 (1977).
2. R. H. Garstang, *Publ. Astron. Soc. Pac.* 103, 1109 (1991).
3. P. Cinzano, F. Falchi, C. Elvidge, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 328, 689 (2001).
4. C. B. Luginbuhl et al., *Publ. Astron. Soc. Pac.* 121, 185 (2009).
5. C. B. Luginbuhl et al., *Publ. Astron. Soc. Pac.* 121, 204 (2009).
6. C. B. Luginbuhl, in *Preserving the Astronomical Sky: Proceedings of the 196th Symposium of the International Astronomical Union, 12–16 July 1999*, R. J. Cohen, W. T. Sullivan III, eds., Astronomical Society of the Pacific, San Francisco (2001), p. 81.
7. M. Walker, *Publ. Astron. Soc. Pac.* 85, 508 (1973).
8. C. Rich, T. Longcore, eds., *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, Washington, DC (2006).
9. P. Cinzano, in *Light Pollution: The Global View*, H. Schwarz, ed., Kluwer, Dordrecht, the Netherlands (2003), p. 39.
10. C. E. Walker, C. B. Luginbuhl, R. J. Wainscoat, in *Proceedings of the CIE Light and Lighting Conference with Special Emphasis on LEDs and Solid State Lighting, 27–29 May 2009*, Budapest, Hungary (in press).

ScientificWorkPlace®
 Mathematical Word Processing • L^AT_EX Typesetting • Computer Algebra

The Gold Standard for Mathematical Publishing

- Increase productivity
- Produce stunning documents easily and quickly
- Typeset documents with L^AT_EX
- Work with the easiest-to-use computer algebra system

Includes the Beamer Package for slide presentations

To make a parametric animated plot in cylindrical coordinates:
 1. Type an expression of the form $(\cos(t), \sin(t), t)$
 2. With the insertion point in the expression, choose Plot 3D Animated. The next example shows a cone being generated as the line $z = -t$ in the View Orientation is Turn 2D, Turn 3D.
 • Plot 3D Animated - Cylindrical
 $(-\cos(t), 2\sin(t), -t + 2)$

Animated plots in spherical coordinates:
 1. To make an animated plot in spherical coordinates:
 1. Type an expression in the form $(\cos(t), \sin(t), t)$
 2. With the insertion point in the expression, choose Plot 3D Animated - Spherical.
 The next example shows a sphere being generated as the line $r = 1$ in the View Orientation is Turn 2D, Turn 3D.
 • Plot 3D Animated - Spherical
 $(\cos(t), \sin(t), 1)$

MacKichan SOFTWARE, INC.
www.mackichan.com/pt
 Visit our website for free trial versions of all our software.
 Toll-free: 877-724-9673 • Email: info@mackichan.com

PDE Solutions Inc
 Problem Solving Environments Since 1995

Multi-Physics Finite Element Analysis The Easy Way!

Model all your Partial Differential Equations systems with a single package. No modules to buy. From mathematical description to graphical output in a single solution environment.

Now with support for multi-core computers and complex and vector variables, FlexPDE 6 is more than ever the indispensable tool for scientists and engineers.

FlexPDE 6 is a scripted finite element model builder for partial differential equations.

- Linear or Nonlinear
- 1D, 2D or 3D plus time or eigenvalues.
- Unlimited number of variables
- Unlimited equation complexity
- \$1995 complete
- Academic and quantity discounts available

www.pdesolutions.com Phone: 509-891-0160
sales@pdesolutions.com FAX: 509-891-0239



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Environmental Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jenvman

Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility

Fabio Falchi^{a,*}, Pierantonio Cinzano^a, Christopher D. Elvidge^b, David M. Keith^c, Abraham Haim^d

^a *Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso, Via Roma 13, I-36106 Thiene, Italy*

^b *NOAA National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado, USA*

^c *Marshall Design Inc., Boulder, Colorado, USA*

^d *The Israeli Center for Interdisciplinary Studies in Chronobiology, University of Haifa, Haifa 31905, Israel*

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 December 2010

Received in revised form

14 May 2011

Accepted 3 June 2011

Available online 13 July 2011

Keywords:

Light pollution

Light technology

Sustainable lighting

Health and light at night

ABSTRACT

Light pollution is one of the most rapidly increasing types of environmental degradation. Its levels have been growing exponentially over the natural nocturnal lighting levels provided by starlight and moonlight. To limit this pollution several effective practices have been defined: the use of shielding on lighting fixture to prevent direct upward light, particularly at low angles above the horizon; no over lighting, i.e. avoid using higher lighting levels than strictly needed for the task, constraining illumination to the area where it is needed and the time it will be used. Nevertheless, even after the best control of the light distribution is reached and when the proper quantity of light is used, some upward light emission remains, due to reflections from the lit surfaces and atmospheric scatter. The environmental impact of this "residual light pollution", cannot be neglected and should be limited too. Here we propose a new way to limit the effects of this residual light pollution on wildlife, human health and stellar visibility. We performed analysis of the spectra of common types of lamps for external use, including the new LEDs. We evaluated their emissions relative to the spectral response functions of human eye photoreceptors, in the photopic, scotopic and the 'meltopic' melatonin suppressing bands. We found that the amount of pollution is strongly dependent on the spectral characteristics of the lamps, with the more environmentally friendly lamps being low pressure sodium, followed by high pressure sodium. Most polluting are the lamps with a strong blue emission, like Metal Halide and white LEDs. Migration from the now widely used sodium lamps to white lamps (MH and LEDs) would produce an increase of pollution in the scotopic and melatonin suppression bands of more than five times the present levels, supposing the same photopic installed flux. This increase will exacerbate known and possible unknown effects of light pollution on human health, environment and on visual perception of the Universe by humans. We present quantitative criteria to evaluate the lamps based on their spectral emissions and we suggest regulatory limits for future lighting.

© 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Light pollution is the alteration of natural light levels in the night environment produced by introduction of artificial light. Due to the continuous growth of nighttime artificial lighting, this problem is increasingly debated and many localities have developed regulations to constrain the wasteful loss of light into the sky and environment.

The expanding use of light at night is due to the fact that humans are diurnal animals that are trying to extend activities into

the usually dark hours. This increasing use is driven by what seems common sense, and by the lighting industry with justifications that at first may seem correct. With few exceptions, everything we build is lit at night. This includes streets, roads, bridges, airports, commercial and industrial buildings, parking lots, sport centers and homes. Outdoor lighting continues to expand as more infrastructure is built. Lighting levels are often set high with one or more secondary objectives in mind. For instance, building exteriors are often lit for a merely aesthetic effect. Shopping centers are typically heavily lit to attract shoppers and create a lively environment designed to stimulate spending. Lighting levels in public areas are often set high as a deterrent against crime, even though studies have not proven this to have any effect on crime rates (Marchant, 2004, 2005, 2006). Indeed the cores of our urban centers are

* Corresponding author.

E-mail address: falchi@lightpollution.it (F. Falchi).

bathed in light and the resulting light pollution can extend more than a hundred kilometers out from the city's edge.

There is reliable evidence that this artificial extension of the day produces serious adverse consequences to human health and environment.

The impact of light pollution on the night sky has been described in depth by Cinzano, Falchi and Elvidge (Cinzano et al., 2001). In the First Atlas of Artificial Night Sky Brightness they showed that more than 60% of world population lives under light polluted skies (99% of the population of USA and Europe) and almost one-fifth of world terrain is under light polluted skies.

In regards to human, to date there are no doubts that exposure to light at night (LAN) decreases pineal melatonin (MLT) production and secretion and are not only a source for phase shift in daily rhythms. Apart of timing and exposure duration, the two light variables responsible for the suppression of MLT production are: 1) light intensity and 2) wavelength. Therefore, it seems that the combination of both variables should be considered for the threshold of LAN. Light intensity levels found to suppress MLT production are decreasing as research progresses. During the eighties of last century, it was shown that bright light at an order of thousands of lux was requested for abolishing the secretion (Lewy et al., 1980). The discovery of a novel photoreceptor, the Non Image Forming Photoreceptors (NIPFs), and the photopigment melanopsin gave an opportunity for a better understanding of light perception by humans and showed the effects of spectrum in the human high response to LAN exposure (Thapan et al., 2001; Brainard et al., 2001; Hankins and Lucas, 2002; He et al., 2003; Berman and Clear, 2008; Leonid et al., 2005). The results of a study (Cajochen et al., 2005), in which the impact of wavelength on humans was assessed by measuring melatonin, alertness, thermoregulation and heart rate draw the attention to the significant role of wavelength. It was shown that exposure of 2 h to monochromatic light at 460 nm in the late evening significantly suppressed melatonin secretion while under the same intensity, exposure timing and duration but at wavelength of 550 nm such effects were not observed. Already Wright et al. (2001) showed that even illuminance as low as 1.5 lux affects circadian rhythms. Moreover, recently it is shown that bedroom illumination, typical of most homes in the evening, is sufficient to reduce and delay MLT production (Gooley et al., 2011). From the results of these studies it can be noted that MLT suppression by LAN is wavelength depended and intensities can be much lower than those used several decades ago.

Alteration of the circadian clock may cause performance, alertness, sleep and metabolic disorders. Exposure to light at night suppresses the production of the pineal hormone melatonin, and since melatonin is an oncostatic or anti-carcinogenic agent, lower levels in blood may encourage the growth of some type of cancers (Glickman et al., 2002; Stevens et al., 2007; Kloog et al., 2008, 2009; Bullough et al., 2006; Haim et al., 2010). MLT seems to have an influence on coronary heart disease (Brugger et al., 1995). LAN acts directly on physiology, or indirectly by causing sleep disorders and deprivation, that may have negative effects on several disorders such as diabetes, obesity and others (Haus and Smolensky, 2006; Bass and Turek, 2005). For a brief review of physiological, epidemiological and ecological consequences of LAN see Navara and Nelson (Navara and Nelson, 2007).

Therefore, the increase in light intensity on the one hand and the wide use of "environmentally friendly bulbs" with a short wavelength emission on the other, are probably having severe negative impact on health through the suppression of MLT production.

In the natural environment, animals and plants are exposed to light at night levels that vary from about 5×10^{-5} lux of the

overcast sky, to 1×10^{-4} lux by the starry sky on a moonless night, to 2×10^{-2} lux at the quarter moon, to 0.1–0.3 lux during the week around full moon. The artificial light of a typical shopping mall, 10–20 lux, is up to 200 thousand times brighter than the illuminance experienced in the natural environment around new moon. No wonder that it has become apparent that light at night has strong environmental effects in behavioral, population and community ecology (in foraging, mating, orientation, migration, communication, competition, and predation) and effects on ecosystems. For a review of ecological consequences of light pollution see (Navara and Nelson, 2007; Rich and Longcore, 2004, 2006; Longcore, 2010; Kempnaers et al., 2010). This strong evidence of the adverse effects of artificial light at night on animals and on human health should be balanced against the supposed positive effects on safety and security.

Fortunately it is possible (and also simple in theory, if those involved in lighting collaborate) to limit the light pollution effects and, at the same time, allow for the lighting that is usually perceived as a need by people. Practical ways to limit the effects of light pollution on the night sky and the night environment are well known and verified (Cinzano, 2002):

- a) **Full Shielding:** Do not allow luminaires to send any light directly at and above the horizontal, with particular care to cut the light emitted at low elevations (in the range $\gamma = 90\text{--}135^\circ$ above the downward vertical, i.e. $0\text{--}45^\circ$ from the horizon plane). In practice, light in this range travels long distances through the atmosphere and enhances the additive property of light pollution (Cinzano and Castro, 2000; Luginbuhl et al., 2009), an effect that compounds the problem, especially in densely populated areas. An additional limitation on the light leaving the fixture downward (in the range $\gamma = 80\text{--}90^\circ$ from the downward vertical, i.e. $0\text{--}10^\circ$ below the horizon plane) should also be enforced. This is because the nearly-specular reflection of asphalt at grazing incidence considerably increases the amount of light at low angles above the horizontal (although this reflected light is much more subject to screening by surrounding vegetation and buildings). This limitation will also improve the comfort and visual performance of road users by lowering the direct glare from fixtures.
- b) **Limiting the Area of Lighting:** Carefully avoid wasting downward light flux outside the area to be lit. Such waste is not only a main cause of increase of installed flux per unit surface (and in turn a main cause of increase in energy expense), but some of this light is also reflected upward from these surfaces. Even if Lambertian diffusion from horizontal surfaces is less effective in sending light at low elevations than direct emission by luminaires, nevertheless when the direct emission is eliminated, the diffuse reflection remains as an appreciable source of pollution.
- c) **Eliminate Over lighting:** Avoid luminances or illuminances greater than the minimum required for the task, and dim lights when the application allows it.
- d) **Shut Off Lights When Not in Use¹:** It makes sense to turn the lights off when you leave the room, or for the lights to turn off automatically, but in outdoor lighting these options are rarely available (in Italy, for example, almost all the parking lots of shopping malls are lit all night long, and likewise for the industrial/artisan/commercial areas, whether or not there are workers at night).

¹ Even a great reduction (1/10th of the full values) of lighting levels could be advised, but safety norms don't allow for this.

e) *Limit Growth in Installed Lighting*: Limits to the increase of the new installed flux should be implemented. A 1% yearly increase could be allowed at first for each administrative area, followed by a halt in the increase of total installed flux, and then by a decrease. This does not mean that no new installation will be allowed, but simply that if you want to install new lights you have to decrease the flux in the existing overlighted areas.

To these basic prescriptions, some others could substantially improve lighting quality (e.g. a requirement that the lighting installation be designed by a professional lighting designer, although this might not be feasible in poorer countries nor advisable for smaller installations, provided they respect the code) or to take account of specific kinds of installations (e.g. signs or historical buildings). Most of these prescriptions are already implemented in some of the most advanced anti-light-pollution laws such as Lombardia (Italy) Regional Law n.17 of March 27, 2000 with its subsequent additions and modifications. Twelve other similar regional laws followed in Italy, and most Italian territory and population are now protected by these laws. Slovenia adopted a similar law in year 2007. Falchi (2011) found that despite an almost doubling in the outdoor installed flux, in two studied sites in Lombardia, the artificial sky brightness did not increase over the last twelve years. This is probably due to the adoption of laws against light pollution in the surroundings of the sites. A full enforcement of the prescriptions could probably make a substantial improvement in the quality of the night sky and environment. In fact, the same research shows that in six studied sites, on average, 75% of the artificial sky brightness is produced by light escaping directly from fixtures and only 25% from the reflections off lighted surfaces. This implies that, all the rest being equal, a complete substitution of the installed fixtures with fully shielded ones could lower the artificial sky brightness to 1/4 of present levels. In two of the studied sites, more than 90% of the artificial sky brightness derived by direct light. These sites would presumably have a 90% decrease in light pollution as a result of retrofitting fixtures to fully shielded in the surrounding territory that produce light pollution, i.e. a circle of at least 100 km radius.

Nevertheless, even when the best control of the light distribution is reached and when the proper quantity of light is used, some upward light emission remains, due to reflection from the properly lighted surface. This is an unavoidable by-product of the lighting operation, even when measures a), b) and c) have been achieved: lighting is installed just to produce reflections of light. However, after the light has performed its useful function, it is then dispersed into the environment. Due to its near-Lambertian behavior, this reflection is frequently less effective at low elevations than at large elevations, so the effect on the night sky tends to be confined largely to the vicinity of the source. In any case, the environmental impact of this residual light pollution cannot be neglected.

Limitation of this residual pollution requires limits not only on "how" nighttime lighting is arranged according to prescriptions a) and b), but also "how much" nighttime lighting is made. Typically it has been proposed to limit the growth rates of installed flux in each city, or to limit the average density of installed light flux (e.g. installed flux per hectare or acre). However, following the example of the radio portion of the electromagnetic spectrum, there is an additional way to limit this residual pollution: by preferential use of light sources with spectral characteristics that have the least impact on star visibility and human and wildlife health, while maintaining a given degree of visibility in areas that need artificial lighting. This would allow reduction of the negative astronomical and biological effects without impairing essential night lighting.

This solution has been applied for decades whenever Low Pressure Sodium (LPS) and High Pressure Sodium (HPS) lamps have been requested in place of Mercury Vapor (MV) or incandescent

lamps. The arrival of new LED light sources for nighttime outdoor lighting and widespread use of broad spectrum Metal Halide (MH) lamps even where they aren't the best option enhances the need to define a more quantitative prescription, applicable to any kind of lamp and capable of giving precise indications to the lighting industry on the way to proceed in light source development or improvement (e.g. how to filter or tailor the spectrum of the emitted light).

The prescription should:

- (i) be as effective as possible in protecting the night environment from the adverse effects of light pollution;
- (ii) take account of existing nighttime lighting habits in order to minimize the impact on human activities;
- (iii) allow easy identification of non-compliant light sources; and
- (iv) allow easy measurement in the field, when needed.

In this paper we discuss the problem, we recognize two different quantitative parameters, we devise a prescription and we investigate how it could be enforced.

2. Methods

The possibility of limiting the residual light pollution, avoiding the need to limit nighttime outdoor lighting itself, is based on the different response with wavelength of the two main classes of eye receptors and the action spectrum of circadian rhythm disruption for rodents, monkeys and humans (Brainard and Hanifin, 2005). In a schematic way and for the purposes of this paper, we can distinguish the photopic response of cones and the scotopic response of rods. The eye response is fully photopic, i.e. cones fully determine it, for luminances over 3 cd/m² whereas the eye response is fully scotopic, i.e. rods fully determine it, under about 0.01 cd/m². In the range between these two limits, called mesopic, the eye response goes from scotopic to photopic, depending on the relative contributions of the two classes of receptors, which in turn depend on the luminances in view. (Fig. 1).

Standard rules, e.g. those on road safety lighting, usually require road luminance to be in the range from 0.3 to 2 cd/m² but, even where laws against light pollution prohibit exceeding values suggested by standard rules, in practice new installations rarely have an average maintained luminance under 0.75 cd/m², the prescribed luminance of the ME4b class of the European Norm EN 13201. Eye response at these luminances is predominantly photopic² (see discussion below). In fact when we look at artificially-lit outdoor areas and recognize colors, which is a property of cones, it indicates that our cone vision is functioning. In some cases colors could be distorted by lamp spectra but in any case they are recognized. Otherwise, we could use monochromatic lamps like Low Pressure Sodium lamps everywhere and there would be no reasons to use white light. Moreover, the 0.3–2 cd/m² prescribed range is for the luminance of the road surface, usually dark asphalt, while the night scene in a city is also full of other lights and surfaces that usually have far higher luminances: the direct lights from fixtures, light colored objects, vehicle lights, billboards and shop windows. So our eyes are not fully dark adapted in a typical city night scene (see Fig. 2).

In observation of the starry sky, where the natural luminance of the sky is about 200 μ cd/m², the response is scotopic, except when

² Even the Lighting Research Center recommends using the usual photopic lumen at luminance greater than 0.6 cd/m² instead of their proposed Unified Luminance that take into account for the blue content of the lamps in the mesopic range (Rea and Freyssinier, 2009).

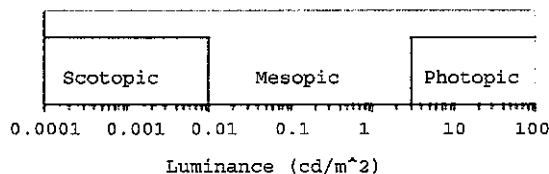


Fig. 1. Approximate luminance ranges of scotopic (rods), mesopic (rod/cone transition region) and photopic (cones) response of the human eye.

looking at a few bright stars. This difference gives us a way of separating the primary polluting effects of the light from its lighting capabilities. Unfortunately the scotopic and photopic response curves overlap in part, as shown in Fig. 3. This prevents us from fully separating these two effects. This means that we cannot use the spectra of lamps to limit light pollution in place of fully shielded fixtures and the other prescriptions. Even monochromatic lamps emitting at the maximum of photopic response, e.g. LPS lamps, contribute consistently to the scotopic response pass band. So the a), b) and c) prescriptions listed in the introduction are still required in practice. However we can use this differential response to diminish pollution, subject to all the usual precautions to limit the amount of light pollution.

At luminances under 0.5 cd/m² the contribution of monochromatic rods to eye response could be relatively larger, but we are aware that there are very few new installations with average maintained luminance so low in Italy, even if standard rules allow 0.3 cd/m² for local roads. The Lighting Research Center recommends using the usual photopic values at luminance higher than 0.6 cd/m² (Rea and Freyssonier, 2009). Lewis (1999) claimed that under a photopic luminance of 0.1 cd/m² some MH lamps emitting strongly in the scotopic pass band can produce a reaction time only slightly worse than that obtained with some HPS lamps at 1 cd/m². In a study on mesopic visibility Orreveläinen (2005) investigated reaction times in seeing different color targets in peripheral vision. He found no differences at 1 cd/m², very small differences at 0.1 cd/m² and evident differences only at 0.01 cd/m², where the blue and cyan targets were detected earlier than warmer color targets. Lewis (1999) showed that for a luminance of 1 cd/m² MH lamps emitting consistently in the scotopic band still produce a slightly greater contrast than HPS. However, better visibility in the peripheral field

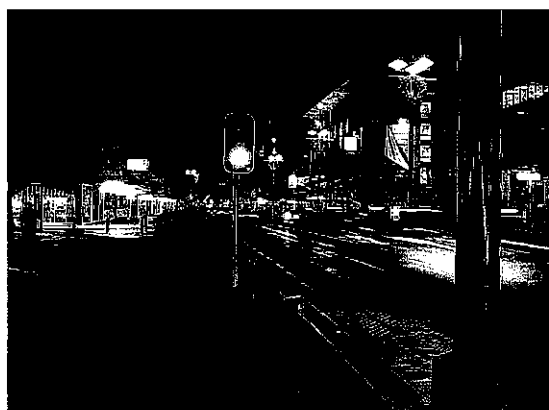


Fig. 2. A typical town night scene. The lowest luminance is on the ground and on the street where it should be about 1 cd/m². Its luminance is even lower than the night sky in big cities. Most of the rest of the scene has a far higher luminance, completely in the photopic range of our eyes. (Photo by Bruce Kingsbury).

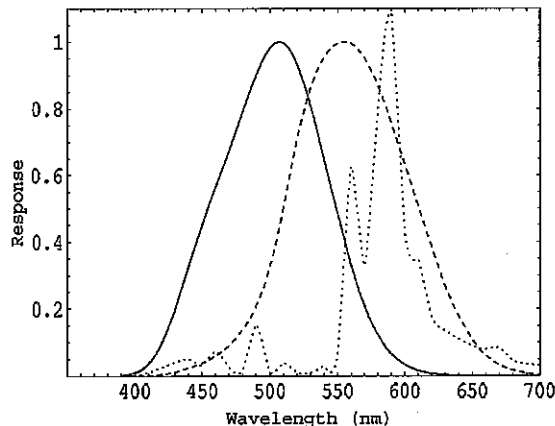


Fig. 3. Photopic (dashed line) and scotopic (solid line) normalised responses for comparison with the spectral power distribution of an HPS lamp (dotted line).

at the edge of streetlight obtained with bluer light should be evaluated along with the strong decrease in eye lens transparency of blue wavelengths with age. Brainard et al. (1997) found that at 450 nm the transmittance of the lens of 60–69 year old is half that of 20–29 year old adults. At 425 nm it is one third. At 555 nm it is only a few percent less while it is equal at 600 nm and above. Studies on vision should use a variety of subjects of different ages, to take into account the increasing population of elder drivers. A migration toward bluer lamps, such as MH and LEDs, will exacerbate the difference in vision performance between young drivers and old drivers, penalizing the latter even as they become a greater fraction of the driving population.

One additional observation should be made concerning high-blue-content lamps. Road surface materials, either asphalt and concrete, reflect less short wavelength radiation compared to long-wavelength radiation, as seen in Figs. 4 and 5. This implies that lamps that emit more long-wavelength radiation, such as LPS or HPS, will have more light reflected by these roads. On the other hand, lamps that emit more in shorter-wavelengths are less effective in producing luminance from these road surfaces. We computed that at equal photopic output white LED lighting produces 6%–11% less luminance from roads than HPS, depending

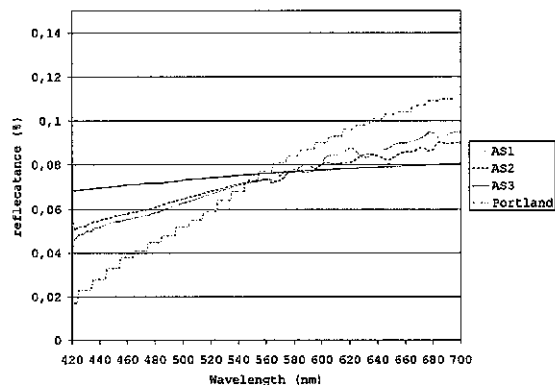


Fig. 4. Spectral reflectance of four asphalt surfaces. Data from NASA/Jet Propulsion Laboratory ASTER Library (Baldrige et al., in press) and Portland Cement Association (Adrian and Jobanputra, 2005).

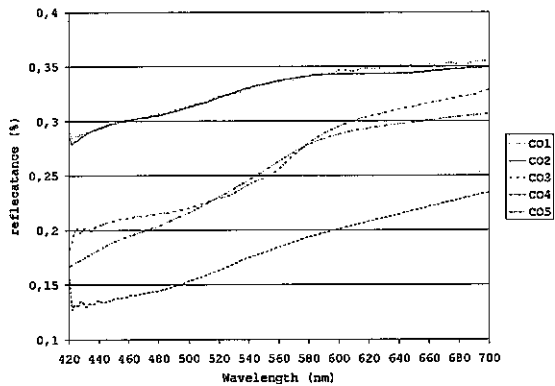


Fig. 5. Spectral reflectance of five concrete surfaces. Data from NASA/Jet Propulsion Laboratory ASTER library (Baldridge et al., 2009).

on the type of surface. The spectra of these lamps are shown in Fig. 7. The spectral reflectivity of roads reduces the blue contribution of the lamps by one half or more, lowering the effects on the environment but also lowering the supposed visual benefits. Moreover, if fixtures are not suitably shielded, this lowering in the reflection of blue light is negligible, due to the dominant contribution of direct light to sky luminance outside of cities.

Replacement of HPS lamps with MH lamps and white LEDs – with an accompanying reduction of luminance to 0.1 cd/m² – does not seem immediately applicable because (a) existing rules do not allow such small luminances and typically require a very time-consuming process to be changed, (b) existing studies do not seem sufficiently complete and convincing to justify these practices.

As new studies on the negative effects of artificial light at night will be produced, a lowering of the external lighting levels would probably be advisable even in the case of a demonstrated decrease of visibility on roads. Accumulated evidence of the demonstrated negative effects of light at night may well outweigh the positive ones. Moreover, most of the positive effects used to justify the huge expenses to build, maintain and power external lighting are based on anecdotal indications or poor statistical analysis (Marchant, 2004, 2005, 2006). Even for the road safety effect there is a lack

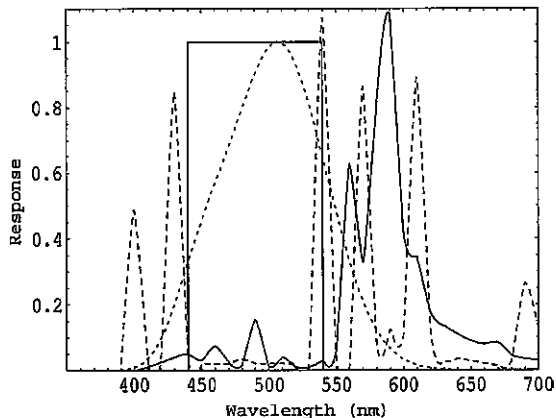


Fig. 6. The protected 440–540 nm range (solid line) compared with the scotopic response (short dashed line) and the spectral power distributions of an HPS lamp (solid line) and a mercury vapor lamp (dashed line).

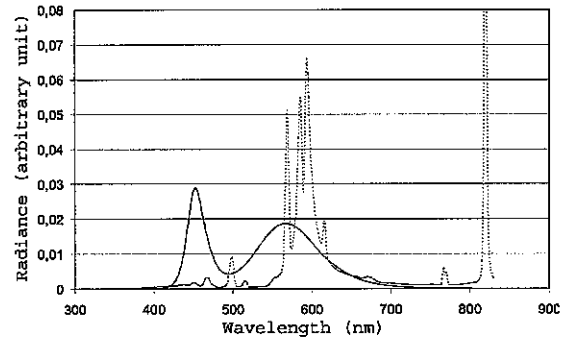


Fig. 7. Spectral power distributions of a white LED (solid line) and an HPS lamp (dotted line) with equal photopic lumen output.

of studies using randomised controlled trials. A public registration of protocols and trials is suggested, lowering the problem of publication bias (Copas, 2005) by ensuring that ‘against lighting’ results remain as visible as ‘for lighting’ ones.

2.1. The wavelengths that cause the worst light pollution

For nearly a hundred years the specification and characterization of light has been based on the wavelength-dependent sensitivity of the two recognized types of photoreceptors (rods and cones) in the human eye. Rods are solely responsible for scotopic or night vision which is black and white. The cones are solely responsible for color vision. There is a wavelength sensitivity to the vision provided by the rods or cones. The photopic band is a spectral representation of the sensitivity of the just the cones, and is centered in the green portion of the spectrum. When under dim lighting conditions there is insufficient light for activation of any cones, the rods are still able to provide black and white vision. This is scotopic vision, which has peak sensitivity in the blue-green (Fig. 3). Early in this decade (Thapan et al., 2001; Brainard et al., 2001; Hankins and Lucas, 2002; He et al., 2003; Berman and Clear, 2008) a third photoreceptor in the human eye was recognized – a circadian photoreceptor with wavelength sensitivity centered in the blue (Thapan et al., 2001; Brainard et al., 2001). As noted earlier, exposure to lighting with a high blue component disrupts the normal melatonin rhythms, commonly leading to insomnia, stress and increased risk for a wide range of medical maladies and even cancer. Preventing the blue component from reaching the eye by means of filters blocking wavelengths under 530 nm, preserves nocturnal melatonin production in humans (Leonid et al., 2005). This implies that the blue component of light has the severest consequences for the environment and human health.

A second reason that blue light contributes more to light pollution than green or red light is that blue light is more readily scattered in the atmosphere – as you can see from the blue sky of daylight hours. This “blue sky” effect arises from Rayleigh scattering which is inversely proportional to the fourth power of wavelength, meaning that shorter wavelength radiation – blue light – will scatter in the atmosphere more than longer wavelength radiation – green and red light (Benenson et al., 2002). The Sun at sunset and sunrise appears orange because the blue component of its light has been redirected by the atmosphere. But this style of scattering also applies to light emitted by cities and towns at night. Green and red light emitted upward are scattered less than blue light, so a higher portion of the long-wavelength light tends to continue on toward space. More of the blue light is scattered in the atmosphere, contributing to the sky brightness that we call light pollution.

2.2. Scotopic to photopic ratio

The first way to minimize the impact of residual light pollution is to use lamps that, for a given amount of photopic light flux, produce a minimal amount of scotopic light flux. In fact, lighting installation design and standard rules are based on photopic luminance. At parity of photopic performance, we can sacrifice the small and usually unknown scotopic contribution, and in exchange we gain the chance of lowering the light pollution effects substantially.

The photopic luminous flux is defined as (CIE, 2001):

$$\Phi_V = K_m \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

where $V(\lambda)$ is the photopic response (CIE, 1926), $\Phi_{e,\lambda}$ is the spectral radiant flux of the source and $K_m = 683 \text{ lm/W}$ is the photometric efficacy, i.e. the standard lumen per watt conversion factor, for photopic response (Bureau International des Poids et Mesures, 2007).

The scotopic luminous flux is defined as (CIE, 2001):

$$\Phi_{V'} = K'_m \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} V'(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

where $V'(\lambda)$ is the scotopic response (CIE, 1951) and $K'_m = 1699 \text{ lm/W}$ is the photometric efficacy, i.e. the standard lumen per watt conversion factor, for scotopic response (Wyszecki and Stiles, 2000).

Then the scotopic to photopic ratio R_{sp} , commonly used in lamp performance comparisons, is:

$$R_{sp} = \frac{\Phi_{V'}}{\Phi_V} = \frac{K'_m \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} V'(\lambda) d\lambda}{K_m \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

It gives the scotopic light flux of a lamp for unit photopic light flux. The ratio of radiant fluxes in the scotopic and photopic spectral ranges will generally vary and are of little value for the present purpose.

We used standard CIE responses, neglecting more recent and accurate photopic responses known as Judd (Judd, 1951) modified $V(\lambda)$, Judd-Vos modified $V_M(\lambda)$ (Vos, 1978) and Stockman and Sharpe (Stockman and Sharpe, 2000) $V_2^*(\lambda)$, because for now standardization of the ratio has priority over accuracy.

Setting an upper limit on the scotopic/photopic ratio could help to control or prevent the strong growth of artificial night sky scotopic luminance that would be produced by a migration from the current population of HPS lamps to MH or LED lamps promoted by the lighting industry because of their white output.

2.3. Protected spectral band for visual astronomy

Due to the above mentioned overlap of the photopic and scotopic luminosity curves, minimizing the scotopic to photopic ratio might not provide enough protection for the night sky in the short wavelength part of the visible spectrum. Hence a more specific wavelength-based restriction on the emissions from lighting is appropriate.

Let's consider a hypothetical lamp with a given ratio of scotopic to photopic light flux and a given radiant flux in each of the two

bands. Now let's assume that we are able to move the spectral flux emitted in the wavelength range 440–540 nm to the blue side of the scotopic band, below 440 nm. Let's finally assume that we are able to tune this flux and the remaining photopic flux in order to maintain the same scotopic and photopic fluxes as before so that the eye will perceive the same quantity of light in scotopic and photopic pass bands. The color of the lamp will change slightly, due to the shift. However now the range 440–540 nm is much darker. The artificial night background produced by the considered lamp will be negligible when observing the night sky with a filter that blocks any wavelength outside this range.

Given that stellar visibility in unpolluted conditions is limited by eye sensitivity, it is necessary that the "protected" wavelength range be centered on the maximum of the scotopic response curve and as large as possible (at least 100 nm) in order that the impact of the filter on limiting stellar magnitude be kept as small as possible. Otherwise the reduction in the eye's scotopic sensitivity with the filter will annul any advantage of filtering out the artificial part of skyglow.

We choose the scotopic protected interval, hereafter called P-band, in the range 440–540 nm in place of the range 450–550 nm in order to leave the mercury emission line at 546 nm unaffected. This range bounds 79 percent of the area under the scotopic curve.

In practice, we cannot "move" light of a lamp toward redder or bluer wavelengths but we can make a good start by using lamps that have a relatively weak output in the P-range. We also need to devise a way to filter out the light in the 440–540 nm range of every lamp, e.g. using absorbing pigments on the lamp glass or on the fixture's cover glass. This could lead to design of a lamp (i) with whiter light than HPS thanks to emission lines in the blue that tend to balance the emissions over 540 nm; (ii) leaving the peak of the scotopic response unpolluted; and (iii) maintaining the same scotopic to photopic ratio as HPS lamps of today.

Lumen is not defined in bands different than scotopic and photopic, so we need to define a parameter in terms of energy flux.

The radiant flux in the photopic band $\Phi_{e,V}$ is:

$$\Phi_{e,V} = \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

where $V(\lambda)$ is the photopic response of CIE and $\Phi_{e,\lambda}$ is the spectral radiant flux of the source.

The radiant flux $\Phi_{e,P}$ in the protected band λ_0 – λ_1 is:

$$\Phi_{e,P} = \int_{\lambda_0}^{\lambda_1} \Phi_{e,\lambda} d\lambda \quad (5)$$

The P-band radiant flux to photopic luminous flux ratio R_P , hereafter called P-ratio, is:

$$R_P = \frac{\Phi_{e,P}}{\Phi_{e,V}} = \frac{\int_{\lambda_0}^{\lambda_1} \Phi_{e,\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

It gives the energy emitted in the "protected" band by a lamp emitting unitary luminous flux in the photopic response pass band and, in practice, measures the lamp impact on the protected band.

An effective upper limit on the P-ratio is a practical way of protecting stellar visibility from harm caused by artificial radiant flux in the spectral range 440–540 nm. Following this approach

could at least make the wavelength range near the maximum of scotopic sensitivity minimally polluted (Fig. 6).

3. Measurements

Emission spectra were acquired using an ASD, Inc. FieldSpec 3 spectroradiometer equipped with an 8° field of view foreoptic. The instrument had been radiometrically calibrated and spectra were acquired in radiance ($W/m^2/\mu m/sr$) mode over the 350–2500 nm range. Each lamp was warmed up prior to measurement and the spectra were acquired from one lamp at a time in a dark room. The measured light sources included the following classes 1) liquid fuel lamps, 2) pressurized fuel lamps, 3) incandescent, 4) quartz halogen, 5) metal halide, 6) high pressure sodium, 7) low pressure sodium, and 8) light emitting diodes (LED).

Given the limited number of lamps and manufacturers in the market, the P-ratios should be provided by manufacturers for each lamp, calculated from the spectral power distribution, or measured. It would be futile to leave this to lighting installers to do. A quick check of installed lamps in the field by competent technicians will determine if the type of lamp installed satisfies the P-ratio limit discussed below.

The scotopic to photopic ratio can be obtained by dividing the illuminances measured using luxmeters with interchangeable filters available on the market. A scotopic luxmeter can also be purchased directly or obtained by replacing the photopic filter in a suitable luxmeter with a scotopic filter and calibrating it. An energy measurement of the P-ratio can be obtained with an irradiance-meter provided with an interference filter for the range 440–540 nm, and calibrated in irradiance with the filter in place. Such filters are commercially available, and some irradiance meters are already provided with photopic and scotopic filters. The calibration can be made using one of the many spectral calibration standards available on the market. There is no need for lighting installers to acquire such equipment provided that manufacturers' data are reliable, but it could be a good idea for environmental control organizations to acquire the equipment.

Table 1 shows actual ratios for some cases of interest in external lighting. Scotopic to photopic ratios have been measured at LPLAB by Cinzano (2003), or calculated. Average scotopic to photopic ratios for HPS and MH lamps are taken from Knox and Keith (2003). P-ratios have been computed with synthetic photometry from spectra taken by Cinzano with WASBAM (Cinzano, 2004) and from spectra measured by Elvidge and Keith.

What upper limits should we set for the previous ratios? In principle, lamps with minimum ratios should be adopted. By far, the least polluting lamps in the P-band are the Low Pressure Sodium, with a R_p ratio about 2% of the second best lamps, High Pressure Sodium. Unfortunately, LPS lamps have the disadvantages of long length and poor color rendition, along with diminishing availability. In many applications color rendition is unimportant or unnecessary, but LPS lamps have been abandoned by the lamp manufacturers in favor of other popular lamp types. An LPS lamp should be first choice, with others used only if strictly necessary. However, following the compromise position of individuals and organizations working against light pollution, we suggest that the upper limits be set equal to the actual maximum ratios of most common HPS lamps. Lamps with still larger ratios should be used only in those cases when strong reasons for “whiter” light are demonstrated. We are in a phase similar to when catalytic converters were introduced in the car market. They didn't stop pollutants totally (as in an ideal world), but started to do so in a way compatible with the technology of the time. Similarly, setting a limit compatible with HPS will start controlling the blue content, while not upsetting the current habits of the market. Due to the overwhelming importance of our health

Table 1
Ratios for some lamps and lamp classes.

Lamp	R_{sp}	R_p
LPS ^a	0.20	0.0027
HPS 70 W ^a	0.55	0.13
Average HPS ^b	0.66	—
HPL 80 W (Hg vapor) ^a	1.18	0.27
CIE Illuminant A ^c	1.41	0.51
QTH 3100 K ^c	1.56	0.58
Average MH ^b	1.60	0.46
Flat spectrum ^c	1.86	0.93
LED 'natural white' ^c	3.5	0.87

^a R_{sp} measured.

^b R_{sp} from Knox & Keith (Judd, 1951).

^c R_{sp} calculated.

over the “necessity” to use white or blue-rich light, even applications other than road lighting should follow our prescription. These top limits could be enforced by law as obligatory, because voluntary quality goals may not suffice.

Table 1 also shows that a migration from the current population of HPS lamps to MH or, worse, blue-rich white LED lamps could produce a growth of artificial night sky brightness by 2.5–5 times, as perceived by the dark adapted human eye. Such large increases, combined with the usual growth of installed flux, may produce a tenfold increase of the scotopic sky brightness in the next ten years or so. Fig. 7 shows the spectral power distributions of a white LED and an HPS lamp with equal photopic lumen output. The far higher emission of blue by the LED is evident.

The same order of magnitude increase is expected on the melatonin suppression action spectrum. This action spectrum is shown in Fig. 8. The peak sensitivity is from 440 nm to 500 nm. A tenfold decrease in sensitivity over the 460–470 nm peak is shown at the 410 nm and 540 nm wavelength. As seen in Table 2, given the same photopic lumen output, MH and LED lamps emit 3–7 times more energy in the 440 nm–500 nm band compared to HPS. Considering the full range of the action spectrum, the results are similar. Given the uncertainties in the spectrum itself, we can summarize that MH is about three times more polluting in this band than HPS. Natural white LED has more than double the content of MH. A migration from HPS lamps to MH lamps and white LEDs could produce far worse effects on human health than today's lighting does. This will impair and negate worldwide efforts toward better and less polluting lighting practices. LEDs have anyway a great potential, they could be tuned and produced with very different spectra, so it is advisable that industry research be pushed toward the production of less polluting warm LEDs, with no blue emissions.

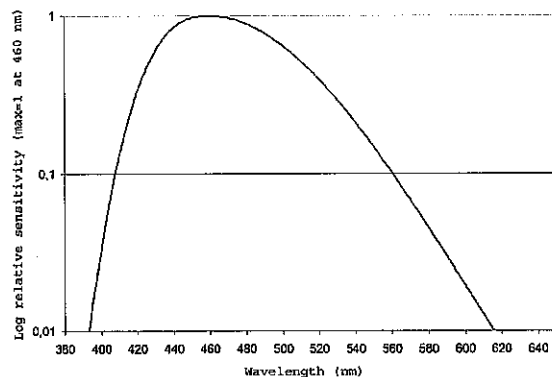


Fig. 8. Action spectrum of melatonin suppression by light (Hollan, 2004).

Table 2
440 nm–500 nm energy ratios (second column) and melatonin suppression efficiency (third column) for some common lamps.

Lamp type	Energy relative to HPS, 440–500 nm band	Melatonin suppression effect (relative to HPS)
HPS	1	1
LPS	0.02	0.3
Metal Halide	2.7	3.4
Natural White LED	7.0	5.4
Incandescent 65 W	2.5	2.5

4. Proposed limits

Residual light pollution is that produced by reflected light, after direct upward emission has been accurately minimized, over lighting has been avoided, and the flux wasted illuminating outside surfaces has been minimized. It would remain to be dealt with after laws or regulations have required zero direct emission above the horizontal by lighting fixtures, limited the luminance or illuminance to the minimum required by security rules, minimized as much as possible the fraction of light wasted downward outside the surface to be lighted, and banned the use of mercury vapor³ in every type of lamps.

The International Agency for Research on Cancer has recently added to the list of group 2A (probably carcinogenic to humans) shiftwork that involves circadian disruption (Straif et al., 2007). As seen, circadian disruption is also induced by light exposure at night and light at night is becoming a public health issue (Pauley, 2004; Stevens, 2009).

Light pollution has to be recognized as a hazard to our environment and our health and not, as commonly believed, as just a problem for astronomers. This view is supported by the recent resolution of the American Medical Association (2009) where it is said that light pollution is a public health hazard.

We recommend a total ban of the outdoor emission of light at wavelengths shorter than 540 nm to reduce the adverse health effects of decreased melatonin production and circadian rhythm disruption in humans and animals. The relatively low emissions of HPS lamps in this spectral range could be set as the limit⁴ on what is acceptable in terms of the balance between photopic and meltopic emission ratios. So, this rule should be used as standard.

The wavelength range of the visible light spectrum under 540 nm, corresponding to high sensitivity of the melatonin suppression action spectrum, should be established as a protected range. Lamps that emit an energy flux in the protected range larger than that emitted by the standard HPS⁵ lamp on a basis of equal photopic output should not be installed outdoors⁶.

The following prescription aims to limit residual light pollution in the scotopic band and should be used only in the limited number of cases where there is the absolute necessity to have accurate color perception and the previous rule cannot be followed.

The wavelength range of the visible light spectrum between 440 and 540 nm, corresponding to the maximum sensitivity of the scotopic

³ These lamps must be prohibited anyway due to their mercury content and low efficacy.

⁴ This limit is a compromise due to the available types of lamps on the market. It could be lowered in future, but it is anyway sufficient to stop the growth of the blue light content in the environment due to the LEDs and MH lamps.

⁵ HPS energy flux varies with the power of the lamp. So, for each lumen output of the lamp to be evaluated, it is to consider the immediate lower power HPS lamp. For example, in evaluating a 14 000 lm lamp, it must be compared to a 100 W HPS lamp that typically produces 9500 lm instead of a 150 W HPS lamp that emits about 16 000 lm.

⁶ Regulation of indoor lighting lies outside the purposes of this paper.

vision of the human eye, should be established as a protected range. Lamps should not be installed outdoors if (a) their emission in this wavelength range exceeds 15 percent of the energy flux emitted in the photopic response pass band, measured in watts,⁷ and (b) their emission in the scotopic response pass band exceeds two-thirds of that emitted in the photopic response pass band, measured in lumens.⁸

In the authors' opinion, lamp producers should follow these rules as a minimum precaution in order to minimize the impact of their products on human health and on the environment, even in the absence of laws or regulations.

Following the actual market trend toward more, brighter and whiter light may expose lamp producers and the lighting industry to extensive litigation for illness caused by toxic products, as has already happened with the tobacco and asbestos industries.

A regulation, to be studied, for lamps for interior use during night could be introduced too.

5. Conclusions

In this paper we analysed the different energy and luminous fluxes in the melatonin suppression action spectrum and in the scotopic band for several types of lamps. We found that huge differences exist in the blue emissions of the lamps, for the same photopic luminous flux. Due to the fact that night vision and our health are impaired more by blue light, we proposed two limits to be followed in the adoption of lamps for external use. The first should be used everywhere, as a standard, in order to reduce emissions within the melatonin suppression band at night, as much as possible. The second rule should be used only in a very limited number of situations where better colour rendition is indispensable for the task.

Therefore, an effective law to control light pollution should implement this set of rules:

- do not allow luminaires to send any light directly at and above the horizontal;
- do not waste downward light flux outside the area to be lit;
- avoid over lighting;
- shut off lights when the area is not in use;
- aim for zero growth of the total installed flux;
- strongly limit the short wavelength 'blue' light.

Application of all these prescriptions would allow for proper lighting of our cities and, at the same time, protect ourselves and the environment from the more adverse effects of light pollution.

Acknowledgments

We acknowledge Dr. Barry A.J. Clark and Dr. Jan Hollan for very interesting discussions and suggestions and consequent improvement of this work. We acknowledge also Dr. Steven W. Lockley and Dr. Paul Marchant for help given in their respective fields.

References

- Adrian, W., Jobanputra, R., 2005. Influence of Pavement Reflectance on Lighting for Parking Lots. Portland Cement Association, R&D Serial No. 2458.
- American Medical Association, House of Delegates, 2009. Resolution 516 – Advocating and Support for Light Pollution Control Efforts and Glare Reduction for Both Public Safety and Energy Savings. Online at: <http://www.ama-assn.org/ama1/pub/upload/mm/475/a-09-ref-comm-e-annotated.pdf>.
- Baldrige, A.M., Hook, S.J., Grove, C.I., Rivera, G., 2009. The ASTER Spectral Library Version 2.0. Remote Sensing of Environment, vol 113, pp. 711–715.

⁷ i.e. R_p ratio lower than 0.15.

⁸ i.e. R_{sp} ratio lower than 0.66.

- Bass, J., Turek, F.W., 2005. Sleepless in America: a pathway to obesity and the metabolic syndrome? *Arch. Intern. Med.* 165, 15–16.
- Benenson, W., Harris, W.J., Stocker, H., Lutz, H., 2002. *Handbook of Physics*. Springer-Verlag. ISBN 0-387-95269-1, p.376.
- Berman, S.M., Clear, R.D., 2008. Past visual studies can support a novel human photoreceptor. *Light Eng.* 16 (2), 88–94.
- Brainard, G.C., Hanifin, J.P., 2005. Photons, clocks, and consciousness. *J. Biol. Rhythm.* 20, 314–325.
- Brainard, G.C., Rollag, M.D., Hanifin, J.P., 1997. Photic regulation of melatonin in humans: ocular and neural signal transduction. *J. Biol. Rhythm.* 12, 537–546.
- Brainard, G.C., Hanifin, J.P., Greenson, J.M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, G., et al., 2001. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J. Neurosci.* 21 (16), 6405–6412.
- Brugger, P., Marktl, W., Herold, M., 1995. Impaired nocturnal secretion of melatonin in coronary heart disease. *Lancet* 345, 1408.
- Bullough, J.D., Rea, M.S., Figueiro, M.G., 2006. Of mice and women: light as a circadian stimulus in breast cancer research. *Canc. Causes Contr.* 17, 375–383.
- Bureau International des Poids et Mesures, 2007. SI Brochure Appendix 2, Practical Realization of the Definition of the Candela. http://www1.bipm.org/utls/en/pdf/SIApp2_cd_en.pdf.
- Cajochen, C., Munch, M., Kobialka, S., Krauchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., Orgul, S., Wirz-Justice, A., 2005. High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 90, 1311–1316.
- CIE, 2001. The CIE System of Physical Photometry Draft Standard 010.2/E.
- CIE, 1951. Sec 4; Vol 3. In: Commission Internationale de l'Éclairage Proceedings, vol. 1. Bureau Central de la CIE, Paris, p. 37.
- CIE, 1926. Commission Internationale de l'Éclairage Proceedings 1924. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cinzano, P., 2002. In Light Pollution and the Protection of the Night Environment. In: Cinzano, P. (Ed.). *ISTIL*. www.lightpollution.it/istil/Venice/, pp. 193–205.
- Cinzano, P., 2003. A laboratory for the photometry and radiometry of light pollution. *Memor. Soc. Astron. Ital. Supplement* 3, 312.
- Cinzano, P., 2004. A portable spectrophotometer for light pollution measurements. *Memor. Soc. Astron. Ital. Supplement* 5, 395.
- Cinzano, P., Castro, J.D., 2000. *Mem. SALT - J. Ital. Astron. Soc.* 71 (1), 251–256.
- Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C.D., 2001. The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 328, 689–707. 0035–8711.
- Copas, J., 2005. The downside of publication. *Significance* 2 (Issue 4), 154.
- Falchi, F., 2011. Campaign of sky brightness and extinction measurements using a portable CCD camera. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 412, 33–48.
- Glickman, G., Levin, R., Brainard, G.C., 2002. Ocular input for human melatonin regulation: Relevance to breast cancer. *Neuroendocrinol. Lett.* 23 (suppl 2), 17–22.
- Gooley, J.J., Chamberlain, K., Smith, K.A., Khalsa, S.B., Rajaratnam, S.M., Van Reen, E., Zeitzer, J.M., Czeisler, C.A., Lockley, S.W., 2011. Exposure to room light before bedtime suppresses melatonin onset and shortens melatonin duration in humans. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 96, 463–472.
- Haim, A., Yukler, A., Harel, O., Schwimmer, H., Fares, F., 2010. Effects of chronobiology on prostate cancer cells growth in vivo. *Sleep Sci.* 3 (1), 32–35.
- Hankins, M.W., Lucas, R.J., 2002. The primary visual pathway in humans is regulated according to long-term light exposure through the action of a nonclassical photopigment. *Curr. Biol.* 12 (3), 191–198.
- Haus, E., Smolensky, M., 2006. Biological clocks and shift work: circadian dysregulation and potential long-term effects. *Canc. Causes Contr.* 17, 489–500.
- He, Shigang, Dong, Wei, Deng, Qidong, Weng, Shijun, Sun, Wenzhi, 2003. Seeing more clearly: recent advances in understanding retinal circuitry. *Science* 302, 408–411.
- Hollan, J., 2004. Metabolism-influencing light: measurement by digital cameras. Poster at *Cancer and Rhythm Oct 14–16, 2004, Graz, Austria*.
- Judd, D.B., 1951. Proceedings of the Twelfth Session of the CIE. Bureau Central de la CIE, Paris, 11.
- Kempnaers, B., Borgström, P., Loës, P., Schlicht, E., Valcu, M., 2010. Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Curr. Biol.* 20 (19), 1735–1739.
- Kloog, J., Haim, A., Stevens, R.G., Barchana, M., Portnov, B.A., 2008. Light at night co-distributes with incident breast but not lung cancer in the female population of Israel. *Chronobiol. Int.* 25 (1), 65–81.
- Kloog, J., Haim, A., Stevens, R.G., Portnov, B.A., 2009. Global co-distribution of light at night (LAN) and cancers of prostate, colon, and lung in men. *Chronobiol. Int.* 26 (1), 108–125.
- Knox J.F., Keith D.M. (2003) Sources, surfaces and atmospheric scattering: the Rayleigh Scatter Index. Presented at the 2003 Meeting of the Int. Dark-Sky Assoc., Tucson, USA, Online at <http://resodance.com/jali/scatter.pdf>.
- Leonid, K., Casper, R.F., Hawa, R.J., Perelman, P., Chung, S.H., Sokalsky, S., Shapiro, C.M., 2005. Blocking low-wavelength light prevents nocturnal melatonin suppression with No adverse effect on performance during Simulated shift work. *J. Clin. Endocrin. Metabol.* 90 (5), 2755–2761.
- Lewis, A., 1999. Visual performance as a function of spectral power distribution of light sources at luminances used for General outdoor lighting. *J. Illum. Engineer. Soc. North Am.* 28 (1) Winter 1999.
- Lewy, A.J., Wehr, T.A., Goodwin, F.K., Newsome, D.A., Markey, S.P., 1980. Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science* 210, 1267–1269.
- Longcore, T., 2010. Sensory ecology: night lights Alter Reproductive behavior of blue Tits. *Curr. Biol.* 20 (Issue 20), R893–R895.
- Luginbuhl, C.B., Walker, C.E., Wainscoat, R.J., 2009. *Phys. Today* 62 (12), 35.
- Marchant, P.R., 2004. A Demonstration that the Claim that Brighter Lighting Reduces Crime is Unfounded. *Br. J. Criminol.* 44, 441–447. <http://bjc.oupjournals.org/cgi/content/abstract/44/3/441>.
- Marchant, P.R., 2005. What works? A Critical Note on the Evaluation of crime reduction Initiatives. *Crime Prev. Community Saf. Int. J.* 7, 7–13.
- Marchant, P.R., 2006. Shining a Light on Evidence Based Policy: Street Lighting and Crime. *Criminal Justice Matters No. 62 Uses of Research P18*. The Centre for Criminal Justice Studies, Kings College, London. <http://www.crimeandsociety.org.uk/opus33/Marchantfinal.pdf>.
- Navara, K.J., Nelson, R.J., 2007. The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *J. Pineal. Res.* 43, 215–224.
- Oreveteläinen, P., 2005. Models for Spectral Luminous Efficiency in Peripheral Vision at Mesopic and Low Photopic Luminance Levels. Helsinki University of Technology, Lighting Laboratory, Espoo, Report 37, ISBN: 951227857X.
- Pauley, S.M., 2004. Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Medical Hypotheses* 63, 588–596.
- Rea, M.S., Freyssiener, J.P., 2009. In: *Outdoor Lighting: Visual Efficacy, ASSIST Recommends*, vol. 2, issue 2. Lighting Research Center and Rensselaer Polytechnic Institute Jan 2009.
- Rich, C., Longcore, T., 2004. Ecological light pollution. *Front. Ecol. Environ.* 2 (4), 191–198.
- Rich, C., Longcore, T., 2006. In: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press.
- Stevens, R.G., 2009. Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. *Int. J. Epidemiol.* doi:10.1093/ije/dyp178.
- Stevens, R.G., Blask, E.D., Brainard, C.G., Hansen, J., Lockley, S.W., et al., 2007. Meeting Report: the role of environmental lighting and circadian disruption in cancer and other diseases. *Environ. Health Perspect.* 115 (9), 1357–1362.
- Stockman, A., Sharpe, L.T., 2000. The spectral sensitivities of the middle- and long-wavelength-sensitive cones derived from measurements in observers of known genotype. *Vis. Res.* 40, 1711–1737.
- Straif, K., Baan, R., Grosse, Y., Secretan, B., El Ghissassi, F., Bouvard, V., Altieri, A., Benbrahim-Tallaa, L., Cogliano, V., 2007. Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. 2007 Dec. *Lancet Oncol.* 8 (12), 1065–1066. PubMed PMID: 19271347.
- Thapan, K., Arendt, J., Skene, D.J., 2001. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J. Physiol.* 535, 261–267.
- Vos, J.J., 1978. Colorimetric and photometric properties of a 2° fundamental observer. *Color Res. Appl.* 3, 125–128.
- Wright Jr., K.P., Hughes, R.J., Kronauer, R.E., Dijk, D.J., Czeisler, C.A., 2001. Intrinsic near-24-h pacemaker period determines limits of circadian entrainment to a weak synchronizer in humans. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 98 (24), 14027–14032.
- Wyszecki, G., Stiles, W.S., 2000. *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, second ed. John Wiley and Sons.

REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DEL INTERIOR
SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS
ELECTRICOS Y DE GAS
"S E G"

REPUBLICA DE CHILE
SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS ELECTRICOS Y DE GAS

NSEG 9. n71

ILUMINACION: DISEÑO DE ALUMBRADO PUBLICO EN SECTORES URBANOS

1. Objetivo y alcance

- 1.1. Esta Norma tiene por objeto fijar los niveles mínimos de iluminación de calles y las condiciones en que estos niveles deben ser obtenidos.
- 1.2. Las disposiciones de esta Norma se aplicarán a los proyectos de alumbrado público de calles ubicadas en sectores urbanos.
- 1.3. Se aplicarán en lo que corresponda las disposiciones de la NSEG 15. E. n78.

2. Definiciones

- 2.1. Para los efectos de aplicación de esta Norma se define el siguiente término:

2.1.1. Uniformidad. Es la relación entre la iluminación del punto más iluminado y la del menos iluminado de la calzada.

La uniformidad está dada por la expresión: $E_{\text{máx.}}$

$E_{\text{mín.}}$

3. Consideraciones para el diseño.

- 3.1. Al diseñar un sistema de alumbrado público se deben considerar los siguientes factores:

3.1.1. Tránsito de vehículos

3.1.2. Tránsito de Peatones

3.1.3. Iluminación media horizontal sobre la calzada

3.1.4. Uniformidad

00322 VTA

REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE INTERIOR
SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS
ELECTRICOS Y DE GAS
“ S E G ”

4. Clasificación de las calles.

4.1. De acuerdo a la densidad de tránsito de vehículos las calles se clasifican en:
calles con tránsito de vehículos,

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| 4.1.1. Muy liviano..... | menos de 150 vehículos/hora |
| 4.1.2. Liviano..... | entre 150 y 500 vehículos/hora |
| 4.1.3. Medio..... | entre 500 y 1200 vehículos/hora |
| 4.1.4 Alto | más de 1200 vehículos/hora |

4.2. El tránsito de peatones, en los distintos tipos de calle se determinará según el siguiente criterio.

- 4.2.1. Alto. Es el que existe en sectores con gran actividad comercial, gran número de oficinas y en general con gran movimiento de personas.
- 4.2.2. Mediano. Es el que existe en las calles de los sectores comerciales de los barrios y en ciertas zonas industriales de importancia.
- 4.2.3. Liviano. Es el que existe en las calles de tipo residencial, carreteras y autopistas en sectores rurales, etc.
- 4.2.4. Muy liviano. Es el que existe en pasajes de barrios residenciales.

4.3. Las intensidades de tránsito se medirán a la hora de máximo tránsito nocturno.

5. Niveles de Iluminación.

5.1. Los niveles de iluminación para calles de sectores urbanos se establecen en la tabla siguientes, de acuerdo a la intensidad de tránsito de vehículos y peatones que ellas tengan:

REPUBLICA DE CHILE
 MINISTERIO DEL INTERIOR
 SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS
 ELECTRICOS Y DE GAS
 "S E G"

TABLA 1

Niveles medios de iluminación horizontal

ILUMINACION

(lux)

TRANSITO DE VEHICULOS	TRANSITO DE PEATONES			UNIFORMIDAD	
	ALTO	MEDIANO	LIVIANO	MUY LIVIANO	
Muy Liviano	8	6	2	1	--
Liviano	3	6	4	--	10
Medio	12	10	8	--	8
Alto	20	12	10	--	8

5.2. Los valores señalados en la Tabla 1 representan el valor medio de iluminación sobre la calzada cuando la luminaria o equipo ha alcanzado su envejecimiento normal.

5.3. Se considera como valor medio de iluminación de la calzada, el obtenido de efectuar un conjunto de mediciones de la iluminación al nivel de la calzada. Para calcular este valor se traza un reticulado entre dos luminarias situadas al mismo costado de la calle con cada retículo de lado igual a la mitad de la altura de montaje de la luminaria o equipo.

La medición se efectúa en el centro de cada uno de estos retículos y el promedio de los valores obtenidos será el valor medio buscado.

6. Criterio de selección y ubicación de los equipos.

6.1. Como el tránsito de vehículos tiene una relación directa con el ancho de la calzada, se da la tabla siguiente que establece un criterio de diseño según el cual se podrá seleccionar los equipos y fijar la ubicación de ellos en los casos más frecuentes.

00323 VTA

REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DEL INTERIOR
SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS
ELECTRICOS Y DE GAS
" S E G "

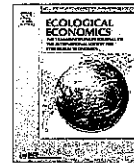
En todo caso el resultado obtenido de la aplicación de esta tabla deberá ser verificado según lo establecido en la tabla 1.

T A B L A 2

ANCHO CALZADA	PEATONES	TRANSITO DE VEHICULOS	TIPO DE INSTALACION
7 A 9 mts	Liviano o ninguno	Muy liviano o liviano	Lámpara 125 w. vapor de mercurio en pantalla o en luminaria, un costado
9 a 12 mts.	Mediano	Liviano o medio	Lámpara de 250 w. vapor de mercurio en luminaria, un costado.
12 a 15 mts.	Alto	Alto	Lámpara de 400w vapor de mercurio o lámpara de 250w.vapor de sodio alta presión, ambos costados.
15 a 20 mts.	Mediano o Alto	Alto	Lámpara de 400 w. vapor de sodio alta presión en luminaria, un costado.
Más de 20 mts.	Mediano o Alto	Alto	Lámpara de 400w. vapor de sodio alta presión en luminaria, ambos costados.

7. Otros casos

7.1. Todos los casos especiales de iluminación de calles no contemplados en esta Norma, así como también la iluminación de plazas y jardines, deberán ser presentados a la Superintendencia para su estudio particular.



Analysis

The economics of global light pollution

Terrel Gallaway*, Reed N. Olsen, David M. Mitchell

Missouri State University, Department of Economics, 901 S. National, 65897 Springfield, MO

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 March 2009

Received in revised form 20 August 2009

Accepted 7 October 2009

Available online 26 November 2009

Keywords:

Light Pollution

Remote Sensing

DMSP

Fractional Logit

EKC

JEL classification:

Q5

ABSTRACT

This paper is the first analysis of the economic factors of global light pollution. Light pollution commonly refers to excessive or obtrusive artificial light caused by bad lighting design. Light pollution generates significant costs including negative impacts on wildlife, health, astronomy, and wasted energy—which in the U.S. amounts to nearly 7 billion dollars annually. Current scientific models of light pollution are purely population based. The current paper utilizes unique remote sensing data and economic data from the World Bank to quantify the economic causes of light pollution globally. Fractional logit models show that, similar to other types of pollution, both population and GDP are significant explanatory variables.

© 2009 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

This paper examines light pollution, an issue that has been largely neglected in economics. Light pollution has been described as “One of the most rapidly increasing alterations to the natural environment,” a problem whereby “mankind is proceeding to envelop itself in a luminous fog” (Cinzano et al., 2001, 689). Light pollution is a broad term referring to excessive or obtrusive artificial light caused by bad lighting design. It includes such things as glare, sky glow, and light trespass. Excessive and misdirected light from streetlights, homes, and towns not only interferes with wildlife, stargazing, sleep habits, and professional astronomy, but it also wastes a vast amount of energy. Many people assume artificial light provides safety and improves visibility. However, a large portion of lighting does neither. Lighting that is overused, misdirected, or otherwise obtrusive is simply pollution.

For example, many cities produce a glow in the night sky that can be seen for 100 miles away. Consequently, 66% of the United States and 50% of the European population can no longer see the Milky Way at night (Cinzano et al., 2001). Additionally, approximately 40% of the United States and almost 20% of the European Union population has lost the ability to view the night sky with an eye that can adapt to the darkness of the night sky—in other words, it is as if they never really experience nighttime (Cinzano et al., 2001, 689).

This paper is meant to address a major shortcoming in the current modeling and understanding of light pollution. Current models ignore

economic factors contributing to light pollution and focus almost entirely on population being the key determinate. We correct for this shortcoming by combining a broad spectrum of World Bank data with satellite data measuring the amount of artificial sky brightness (as distinct from the utilization of useful lighting) in 184 different countries. Using fractional logit models to analyze these data, we are able to determine the key factors which contribute to global light pollution. Not surprisingly, we find strong evidence that economic activity and urban density are correlated with the existence of light pollution.

This paper is divided up into the following sections. Section 2 begins with a brief overview of light pollution and how it fits into the externality literature. Section 3 provides an explanation of how various levels of light pollution were measured and quantified. Section 4 discusses our models and their results. Section 5 offers some conclusions and discusses areas of future research.

2. Externalities and light pollution

While most people have a sense that artificial lighting can interfere with birds and insects, the effects are far more common, widespread, and serious than commonly realized. Light pollution does substantial damage to wildlife, aesthetics, and even to human health. Mammals, birds, amphibians, insects, fish and even plants are all affected by light pollution. Light pollution disrupts feeding, reproduction, sleeping and migration. Indeed, problems from light pollution are so pervasive that “unless we consider protection of the night, our best-laid conservation plans will be inadequate” (Rich and Longcore, 2006, 2). Until very recently, darkness has been an inescapable part of the environment and natural history or our planet. Accordingly, life has evolved and

* Corresponding author.

E-mail address: terrelgallaway@missouristate.edu (T. Gallaway).

adapted to daily, monthly, and annual cycles in the level of ambient light. We should not be surprised that the radical transformation of the environment, made possible by artificial lights, has substantial, if inadequately understood, deleterious consequences.

Light pollution exhibits many of the characteristics of a negative externality and has been studied by biologists and astronomers for many years. For example, light pollution disrupts the migration patterns of nocturnal birds and can cause hatchling sea turtles to head inland, away from the sea, and be eaten by predators or run over by cars (Verheijen, 1985; Witherington and Bjorndal, 1991; Salmon and Witherington, 1995; Salmon et al., 1995). Human physiology is not immune to the problem of light pollution. Davis et al. (2001) have concluded that there is an increased risk of breast cancer in women due to lower levels of melatonin production that results from light pollution. Ostensibly, light pollution keeps people from falling into a deep sleep, which causes their bodies to decrease the production of melatonin (Kerenyi et al., 1990).

Light pollution also interferes with both professional and amateur astronomy by reducing the visibility of galaxies, nebulae, and other celestial objects. As a related matter, light pollution does tremendous damage to a unique scenic resource—the night sky (Gallaway, in press). Economic studies quantifying this damage are only now beginning. However, the night sky has been a part of art, science, and culture for as long as these things have existed. When one considers that this cultural resource is no longer visible to the majority of people living in developed countries, and that few places on the globe are unaffected by sky glow, then it is not unreasonable to suspect that aesthetic damages may be exceptionally large (Gallaway, in press). Indeed, light pollution is starting to encroach into areas previously noted for their dark skies. Such damage to an area's natural amenities likely reduces willingness to pay by visitors to the area (Murdock, 2006; Font, 2000). This could be especially acute for state and national parks and other rural areas.¹ Recent studies have shown that a majority of visitors to specific National Parks in the American west have a positive willingness to pay to preserve dark skies in those locations.

Light pollution also wastes energy. Accordingly, poor lighting design contributes to increased carbon dioxide emissions and global warming. In the United States, roughly 6% of the 4.054 million megawatt hours (mwh) of electricity produced are used for outdoor lighting and an estimated 30% of this is wasted as light pollution (California Energy Commission 2005). This translates into 72.9 million mwh of electricity needlessly being generated at a cost of \$6.9 billion a year. Furthermore, this unnecessary electricity usage generated an additional 66 million metric tons of CO₂ (Ristinen and Kraushaar, 2006; DOE, 2006). Eliminating light pollution would be the CO₂ equivalent of removing over 9.5 million cars from the road (EPA, 2006; DOT, 2001).²

Viewing excessive artificial light as a form of pollution is made difficult by the fact that, other than being unwanted, light as a pollutant is no different than light as a good. With many negative externalities, the good and the pollutant are distinct. Gas and coal provide services key to the propulsion of vehicles or the generation of electricity. It is easy to distinguish these services from undesirable byproducts such as CO₂, SO₂, or NO_x. Light pollution does not lend itself to such easy categorization. However, other negative external-

ities share this trait. Non-point pollutants such as fertilizers or pesticides come to mind. With all of these, it is very often the case that the good in question becomes problematic when it is found in the wrong location or in the wrong amount, or when it affects the wrong population. We might argue that the good becomes a pollutant when its effects are something other than its intended purpose. Fertilizer that increases crop yield is a good; runoff that leads to reduced levels of dissolved oxygen in a stream is a pollutant. Similarly, light that improves visibility (for humans) is a good. However when lighting causes glare, or deepens shadows, or washes out the stars, this reduces visibility. Such light is light pollution. Neon lights might improve the visibility of a sign or a storefront. However, a thousand such displays merely add to the clutter and reduce the visibility of any individual sign. This positional externality could also be classified as pollution.³

Interestingly, light pollution has some characteristics of a local, a regional and a global externality. Often, nuisance problems, such as homeowners being bothered by lights from ball parks, car lots, or prisons, are local. Sky glow might be characterized as a regional issue, in as much as the glow from large cities can wash out part of the heavens from even 200 miles away.⁴ On the other hand, if one was more concerned with light pollution's deleterious impact on migratory wildlife or scientific research, or if one were examining the wasted energy and global warming implications, then it might be best to view light pollution as a global externality. Naturally, local problems are easier to address. Indeed, many communities have lighting ordinances designed variously to mitigate nuisance lighting, reduce municipal lighting expenses, or, more commonly in the desert southwest, to protect an area's dark skies for cultural, aesthetic, or scientific purposes.

In many ways, light pollution is similar to other pollutants and environmental problems that have been carefully studied by economists over the years (Baumol, and Oates, 1971; Wirl, 2007; Sobotta et al., 2007; Picazo-Tadeo and Reig-Martinez, 2007; Shimshack et al., 2007). It is easier to identify light pollution than to measure its 'damage' or create politically palatable solutions. Certainly, one can imagine additional negative, as well as positive, externalities associated with artificial lighting. We do not attempt to measure damages or make policy recommendations in this paper. The point is simply that there are important, widespread problems associated with artificial lighting. In this paper, we identify economic factors that contribute to the problem. In particular, we accept a definition of light pollution, by Cinzano et al. (2001) as "the alteration of the ambient light levels in the night environment produced by man-made light." We also rely on the light-pollution data they generated by using satellite measurements to model this artificial sky brightness at zenith.

3. Light pollution data

The light pollution data used in this paper are remote sensing data from satellite observations. The raw data are from the Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) Operational Linescan System (OLS). Data from the DMSP-OLS were, for example, previously used to create a widely published cloud-free composite image of the "Earth at Night" (Elvidge, et al., 1997, 2001; Mayhew and Simmon, 2000). This striking image did help illustrate the scope of artificial

¹ In Chaco Culture National Historical Park, for example, the night sky is officially one of the assets the park tries to preserve for the public. Even though the park is in a remote and relatively unpopulated part of New Mexico, it is increasingly affected by light pollution.

² These are rough estimates based on data from stated references. The figures are simply meant to provide "ballpark" figures for the scope of the problem. Additional technologies which would turn off lights when not in use, or which, in addition to eliminating uplighting, would reduce glare and allow improved visibility with lower wattage fixtures would increase energy savings estimates. Alternatively, a significant percentage of recently installed outdoor lighting is already well designed and efficient. Accounting for this newer lighting would reduce estimates. The lack of good data is one of the challenges to mitigating light pollution. The methodology used here is available upon request.

³ Noise pollution is widely recognized, complained about, and regulated; yet it is similar to light pollution in many respects. While some noises are a byproduct, others such as radios, sirens, alarms, shouts, and the thousands of conversations of a throng, are the goods themselves. We accept that one person's loud music is pollution in another's ears.

⁴ Astronomers have a law, known as Walkers Law, which estimates the reduced visibility from a city based on its size and distance from the viewer. The model estimates the increase in the sky's natural glow when looking at the sky 45° above the horizon in the direction of the pollution's source. Looking towards a metropolitan area of 1.5 million people could increase sky glow by 25% for a location over 50 miles away.

lighting but it was not sufficiently refined to accurately model light pollution and allow comparisons across different times or locations.

Researchers used DMSP-OLS data to create the first “quantitative and accurate depiction of the artificial brightness of the night sky” to be “available to the scientific community and governments” (Cinzano et al., 2001, 689). Their data is particularly valuable because of the singular lack of data on light pollution. Other direct measures of light pollution are *ad hoc*, ground-based measures (Cinzano et al., 2001). Such data are sporadic and limited to only a few locations, including data collected near observatories, data gathered by amateur astronomers, and data collected by the National Park Service in a number of national parks in the western United States.

This lack of direct data has forced researchers to rely almost exclusively on population-based models of light pollution (e.g., Walker, 1977). Indeed, there is a very strong connection between population and light pollution. Nevertheless, “the apparent proportionality between population and sky glow breaks down going from large scales to smaller scales and looking in more detail” (Cinzano et al., 2001, 690). Additionally, light pollution is affected by such things as the level and composition of economic development, and local ordinances (e.g. Bertiau et al., 1973). Of course, population-based models also depend upon the reliability of the population data. Even when accurate data are available, they often give the total population for some relatively large area, say a province or a metropolitan area, but offer no details about how the population is distributed within those areas. Accordingly, this new empirical data on light pollution opens up new possibilities for analysis.

Satellite observations were collected for “the darkest nights of the lunar cycles” for nearly 30 nights in 1996 and 1997. (Cinzano et al., 2000, 642). The data “covers the range for primary emissions from the most widely used lamps for external lighting: mercury vapor (545 and 575 nm), high-pressure sodium (from 540 to 630 nm), and low-pressure sodium (589 nm)” (Cinzano et al., 2000, 642).⁵

Lights that did not reoccur in the same place at least three times were eliminated from the data. Crucially, earth-based measurements were used to ensure that these data were translated into an accurate measure of a key type of light pollution—artificial sky brightness—rather than simply measuring lights (Cinzano et al., 2000, 649, 652).⁶ Modeling techniques, taking into account light scattering and diffraction, were then used to compute the propagation of light pollution. Simplifying assumptions generated results that emphasize the distribution of light pollution rather than show how local sky brightness is affected by atmospheric conditions and elevation (Cinzano et al., 2001, 691). The minimum detectible luminance, of a light with an effective wavelength of 550 nm, corresponded to what one might expect from two 250-w high-pressure sodium lamps placed every square kilometer. (Cinzano et al., 2000, 643).

The resulting map demarks areas by the level of light pollution present. These levels corresponded to various ratios of artificial sky brightness to average natural night sky brightness (Cinzano et al., 2001, 691–692). Finally, the light pollution atlas was compared to a population atlas using the same grid size.⁷ The two data sets were superimposed and statistics were extracted for 201 countries by tallying the percent of the populations living within each of the light pollution tiers (Cinzano et al., 2001, 696).

In addition to population figures, data were collected showing the percentage of land area that was affected by various levels of light pollution for each country. For example, in 1996/1997, 85.3% of the EU's land mass and 61.8% of the US's land mass were covered by a night sky where artificial light added at least 11% to the natural brightness of the sky at zenith (Cinzano et al., 2001, 704). The percent of landmass affected drops sharply for higher levels of light pollution so that only 0.1% of the EU and 0.6% of the US were severely polluted with artificial nighttime brightness more than 27 times the natural levels (Cinzano et al., 2001, 704). Nevertheless, most of the developed world lacks pristinely dark areas and most of the world's population encounters some light pollution. Light pollution is concentrated precisely because populations are concentrated. Moreover, this concentration tends to be along coastal areas, which can often be ecologically important. To use a previous example, light pollution from coastal cities and resorts can interfere with the way sea turtle hatchlings use positive phototaxis to find the ocean.

In this paper we have chosen to focus on three different tiers of light pollution. The first of these is the percent of the population affected by the minimum level of artificial brightness required for an area to be considered polluted, which we have called *POP3*. These criteria consider the night sky polluted when the artificial brightness of the sky is greater than 10% of the natural sky brightness above 45° of elevation (Cinzano et al., 2001, 697; Smith, 1979).⁸ We also considered two more severe categories of light pollution, with total sky brightness, from natural and artificial sources, at double and quadruple natural levels. We examine both the percent of population, *POP1* and *POP2* respectively, and the percent of landmass affected by these high levels of light pollution, *SURFACE1* and *SURFACE2* respectively.⁹

For example, in Table 2, we can see that almost 99% of the population in North American countries live in an area where light pollution has reached the threshold level, 94% of the population lives with sky glow that is at least double its natural level while 70% of the population experiences sky glow that is 4 times higher than the natural level of light at night. In addition, in North American countries an average of 41.4 and 9.93% of the land has a night sky glow that is, respectively, at least twice, or 4 times the natural level.¹⁰

⁵ Ordinarily, these data are collected at a gain setting of 60 dB. For this project, some observations were gathered at a setting of 24 dB to avoid saturation, while other observations were acquired at settings of 40 and 50 db to permit detection of suburbs and small towns (Cinzano et al., 2000, 642).

⁶ The methodology for gathering and processing the data used in the atlas are described at length in Cinzano, et al., 2001 and especially in Cinzano et al., 2000. We have provided a brief discussion in this paper. Cinzano et al. provided a summary outline of their data processing. “The primary processing steps include: (i) establishment of a reference grid with finer spatial resolution than the input imagery using the 1-km equal-area Interrupted Homolosine Projection (Goode, 1925; Steinwand, 1993) developed for the NASA-USGS Global 1-km Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) project; (ii) identification of the cloud-free section of each orbit based on OLS-TIR data; (iii) identification of lights, removal of noise and solar glare, cleaning of defective scan lines and cosmic rays; (iv) projection of the lights from cloud-free areas from each orbit into the reference grid; (v) calibration to radiance units using prior-to-launch calibration of digital number for given input telescope illuminance and VDCa gain settings in simulated space conditions; (vi) tallying of the total number of light detections in each grid cell and calculation of the average radiance value and (vii) filtering of images based on frequency of detection to remove ephemeral events” (Cinzano, et al., 2001, 643).

⁷ The Landsat 2000 DOE global population density database.

⁸ For those not living in urban areas, light pollution is often seen as sky glow above neighboring towns or cities. This sky glow can be seen from as far as 200 miles away and is much worse closer to the horizon in the direction of its source. The observed light pollution is a function of the angle altitude above the horizon as well as the brightness and distance from the source. A location meeting the minimum threshold for pollution might have darker skies at zenith and much brighter skies closer to the horizon.

⁹ That is, an artificial sky brightness equal to natural level will double the total sky brightness, and artificial levels are three times natural levels, quadruple the total levels. *Pop1* measures the percent of the population living where the total light level is at least twice the natural level. Similarly *Pop2* measures the percentage of the population living under skies where the total light level is at least four times the natural level. *Surface1* and *Surface2* have a similar interpretation.

¹⁰ Our aggregate statistics do not compare directly to those reported by Cinzano. For example, Cinzano provides data for 204 countries. Only 186 of these matched countries for which we had World Bank data. Moreover, Cinzano's aggregate statistics are weighted averages, while we are only able to report un-weighted averages.

Table 1
Variable definitions.

Variable	Definition
POP1	Percentage of the population living under skies whose artificial glow is greater than the natural level
POP2	Percentage of the population living under skies whose artificial glow is 3 times the natural level
POP3	Percentage of the population living under skies above the threshold pollution level
SURFACE1	Percentage of the surface area with skies whose artificial glow is greater than the natural level
SURFACE2	Percentage of the surface area with skies whose artificial glow is 3 times the natural level
GDP Per Capita	Real GDP per capita in 1996, 1995 U.S. dollars
Urban	Percentage of total population living in urban areas
Arable	Percentage of total land area that is arable
Energy	Energy (oil, natural gas, and coal) depletion/extraction as percentage of Gross National Income
Foreign Investment	Net inflows of foreign direct investment as a percentage of GDP
Roads	Percent of total roads paved

Sources: Light pollution data is from Cinzano et al. (2001). All other data is from the World Bank (2002).

Note: All data unless otherwise noted is from 1996.

4. Fractional logit regression results and discussion

Table 1 presents variable definitions both for the light pollution variables discussed above and for the explanatory variables used in the regressions discussed in this section. Table 2 presents the percentage of the population or surface area in a light polluted state in various geographic regions in the world. Table 3 includes summary statistics for the variables included in the regression analysis. Finally, Tables 4 and 5 present coefficient estimates and marginal effects from light pollution fractional logit regressions. Estimates are provided for the five measures of light pollution presented in the previous section (Table 2)—three measures of the percentage of the population living in a light polluted tier in a given country and two measures of the percentage of the surface area of a given country that lies within a light polluted tier. Recall that we begin with a lower threshold level of pollution, one where the artificial glow equals the normal night glow (POP1 and SURFACE1) and go up to an artificial glow that is three times the normal night glow (POP2 and SURFACE2). Finally, we also include the percentage of the population living above the scientific

Table 2
Percentage of the population or the surface area in light polluted state by geographic region or income level.

	POP1	POP2	POP3	SURFACE1	SURFACE2	Number of countries
The World	50.71	36.16	63.40	16.97	8.08	184
North America	94.33	70	98.67	41.4	9.93	3
South Asia	17	7	41.43	2.66	0.33	7
East Asia and Pacific	43.68	35	53.59	17.2	12.42	22
European Union	90	72	99.00	36.7	11.5	N.A.
Europe and Central Asia	72.83	47.33	91.23	29.48	11.42	52
Latin America and Caribbean	56.51	42.97	71.60	13.09	6.24	35
Middle East and North America	77	63.52	86.95	28.17	17.32	21
Sub-Saharan African	13.32	7.41	18.75	0.43	0.14	44
Low income	20.18	9.88	31.33	1.17	0.22	60
Low middle income	45.96	29.83	64.87	5.99	2.51	47
Upper middle income	62.61	44.97	76.45	19.55	7.26	33
High income OECD	86.86	71.55	96.55	38.71	16.1	22
High income non-OECD	90.14	72.77	95.00	57.95	34.67	22

Geographic regions and income levels are defined by the World Bank (2002) except for European Union, which is as defined by Cinzano et al. (2001).

Table 3
Summary statistics for the world.

	Number of countries	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
POP1	184	0.507	0.336	0	1
POP2	184	0.362	0.316	0	1
POP3	184	0.634	0.347	0	1
SURFACE1	184	0.170	0.288	0	1
SURFACE2	184	0.081	0.201	0	1
GDP Per Capita	162	\$6,155	\$9,723	\$110	\$45,223
Urban	173	53.386	23.460	5.800	100.000
Arable	174	14.300	13.393	0.075	60.383
Energy	164	4.701	11.786	0.000	73.018
Foreign Investment	151	3.541	12.268	-8.520	145.132
Roads	155	48.723	33.724	0.800	100.000

minimum standard for light pollution (see Cinzano et al., 2001). Fractional logit models are presented because the dependent variables are percentages.

A fractional logit model assumes that the model is given by:

$$Pop1 = 1 / (1 + \exp(-X\beta)) \quad (1)$$

A logit transformation of Eq. (1) yields:

$$\ln(Pop1 / (1 - Pop1)) = X\beta \quad (2)$$

The original dependent variable, which is a fraction and bounded by 0 and 1 is now transformed into a continuous variable on the real line. Papke and Wooldridge (1996) note that one method of estimation is to simply drop observations where the dependent variable equals 0 or 1 (because the transformation cannot be performed on these observations) and estimate using OLS. The current paper uses a superior alternative to estimating the fractional logit model suggested by Papke and Wooldridge (1996), which does not require dropping observations.¹¹

As noted above, standard scientific models of light pollution focus on population as the major and often only explanatory variable for the existence of light pollution. The main point of this paper is to also examine the impact of economic variables upon the existence and extent of light pollution worldwide. Similar to earlier economic researchers (e.g., Grossman and Krueger, 1995; Harbaugh et al., 2002), Table 4 begins with three classes of explanatory variable: (1) the common scientific explanation of light pollution—population as measured by the percentage of the total population living in urban areas, (2) a measure of economic activity, GDP per capita, and (3) arable land as a percentage of total land area.

Following earlier researchers (Grossman and Krueger, 1995; Harbaugh, et al., 2002), we allow for the possibility that the relationship between GDP and light pollution may have an inverted u-shape. For a number of other pollutants, economic development tends to first increase pollution then eventually decrease it as economic growth continues. Because of its similarity to economic inequality functions first pointed out by Kuznets (1955), the inverted u-shape is often referred to as an "environmental Kuznets curve" (EKC). That is, while economic activity initially increases pollution, it may eventually lead to improved environmental quality.¹² There may be both supply-side factors (such as full-cutoff light fixtures that reduce glare and prevent uplighting) and demand-side factors (such as less crime, a concern for wildlife, or a

¹¹ As suggested by Papke and Wooldridge (1996), we estimate using STATA's GLM procedure with family (binomial), link(logit), and robust. When the article was published, STATA's GLM procedure could not estimate fractional logit models but has since been updated to allow such estimation.

¹² Testing the relevancy of the environmental Kuznets curve for light pollution is not the main point of the current paper. However, GDP is one of the most important economic variables and is included as a result. For more information regarding testing for the environmental Kuznets curve see Merlevede et al. (2006).

Table 4
Fractional logit light pollution coefficient estimates and marginal effects by the percentage of the population or the surface area in light polluted state.

	POP1	POP2	POP3	SURFACE1	SURFACE2
Intercept	-3.1860* (-15.60)	-3.9540* (-16.70)	-2.9416* (-12.22)	-6.7324* (-12.11)	-9.8732* (-9.40)
GDP per capita	0.0002* 4.92E-05 (2.96)	0.0002* 3.94E-05 (3.92)	0.0003* 5.84E-05 (2.01)	0.0005* 2.21E-05 (4.84)	0.0004* 3.31E-06 (3.03)
GDP Per Capita Squared	-9.20E-09** -2.30E-09 (-2.20)	-8.57E-09* -1.77E-09 (-2.93)	-2.04E-08 -3.97E-09 (-1.45)	-2.35E-08* -1.06E-09 (-3.94)	-2.01E-08** -1.54E-10 (-2.41)
GDP Per Capita Cubed	1.39E-13** 3.47E-14 (2.06)	1.13E-13** 2.33E-14 (2.51)	4.53E-13 8.82E-14 (1.33)	3.27E-13* 1.48E-14 (3.66)	2.67E-13** 2.05E-15 (2.15)
Urban	0.0449* 0.0112 (10.79)	0.0490* 0.0101 (11.34)	0.0470* 0.0092 (8.48)	0.0359* 0.0016 (3.66)	0.0700* 0.0005 (4.18)
Arable	0.0199* 0.0050 (4.25)	0.0019 0.0004 (0.41)	0.0440* 0.0086 (5.82)	0.0462 ^c 0.0021 (4.95)	0.0216 0.0002 (1.51)
Number of observations	157	157	157	157	157
Log Pseudolikelihood	-57.4963	-53.2835	-53.8001	-32.9362	-18.2491
First Turning Point	\$18,153.51	\$16,516.45	\$12,905.47	\$15,375.99	\$15,616.07
Total Effect	0.3428	0.2729	0.2821	0.1430	0.0219
Second Turning Point	\$26,034.77	\$34,127.32	\$17,102.08	\$32,371.76	\$34,465.23
Total Effect	0.3343	0.2093	0.2788	0.1067	0.0151
Percentage Decrease	-2.48%	-23.32%	-1.16%	-25.40%	-31.29%

Asymptotic t-statistics in parentheses; marginal effects are in bold and are calculated at variable mean values.

*indicates significance at the 1% level, **indicates significance at the 5% level; and ^cindicates significance at the 10% level.

Total effect shows the impact of GDP, via a cubic function, on the dependent measure of light pollution, at the turning point. Percentage decrease measures the change in light pollution between the two turning points and equals (TE2/TE1)-1.

NA indicates that no turning point exists (i.e., an inflection point exists in the cubic function but the function is otherwise monotonically increasing).

desire to protect the historic legacy of the night sky) that would explain this effect.

In short, our model adds economic activity to the well-established population-based light pollution models. We focus on GDP and allow for a possible Kuznets-type relationship. Unfortunately, the lack of comparable economic data across many countries greatly limits our possible explanatory variables. However, we are able to include some basic variables that are indicative of a country's resources and economic structure. These variables include arable land, energy production, foreign direct investment (FDI), and roads.

We use the percentage of arable land to capture the impact of a country's geography. For example, a country with lots of desert or mountainous areas (less arable land) would tend to have less light pollution. Abundant energy may allow for cheaper lighting. Moreover, gas flares at wells and refineries add to light pollution directly, such flares burn at least 150 billion cubic meters of natural gas annually (World Bank, 2009). FDI is considered to be an important factor in shaping the way many economies evolve. For instance, FDI can accommodate projects on a larger scale with more advanced technology than would otherwise be possible. Researchers have shown, for example, that FDI increases air pollution in China, via scale and technology effects (He, 2008). The percentage of roads that are paved is a rough indicator of the level of infrastructure development. We would expect this to have a positive impact on light pollution, including the surface measures since paved roads promote economic development of the hinterland.

Tables 4 and 5 include fractional logit regression coefficients of individual explanatory variables. Marginal effects calculated at independent variable means are also presented in Tables 4 and 5. The main focus of the discussion in this section will be on the signs of the coefficient estimates and their statistical significance. Table 4 illustrates that population does have the expected impact on light pollution, as the percent of the population living in urban areas increases then so does the level of light pollution. This result is present whether using a population-based measure of light pollution or a surface-area measure. Similar fractional logit regressions were run using alternative measures of population, including population

density and the percent of the population living in rural areas, and were found to have similar effects on light pollution.

Notice also, though, that measures of economic activity, real per capita GDP, also tend to have statistically significant impacts on levels of light pollution that first increase the percentages of the population living in light pollution in a country although at a decreasing rate. A similar result is found in Table 4 when measuring light pollution as the surface area affected. This result suggests, unsurprisingly, that light pollution is concentrated in areas with high levels of population and that surface area measures of light pollution are also affected by economic development.

Tables 4 and 5 also include calculations testing for the existence of an EKC. First, as noted above, the regressions estimate the impact of GDP assuming a cubic function. The results from Table 4 illustrate the possibility of an EKC with an estimated positive impact of GDP per capita on light pollution, a negative impact of GDP per capita squared, and a positive impact of GDP per capita cubed. Although these results are consistent with an EKC they still allow for the possibility that the impact of GDP per capita on light pollution is monotonically increasing.¹³ As a result, the actual estimates must be tested to see whether or not the cubic function does or does not provide evidence to support an EKC (Merlevede et al., 2006).

Tables 4 and 5 perform this test by presenting GDP per capita at the first and second turning points of the cubic function. For example, the impact of GDP per capita on POP1 is positive until GDP per capita reaches the first turning point, which occurs at GDP per capita of \$18,153. The overall effect of GDP per capita on POP1 at this level is .3428. That is, 34.28% of the population falls within the POP1 tier at the

¹³ Essentially, a cubic function may have two turning points. In this case, the impact of GDP per capita on light pollution would at first be positive then, when reaching a turning point, its impact would be negative. Finally, after reaching the second turning point the function would again exhibit a positive relationship between GDP per capita and light pollution. However, cubic functions may instead have one inflection point rather than two turning points which implies that the function is monotonically increasing aside from the inflection point.

00326 VTA

Table 5
Fractional logit light pollution coefficient estimates and marginal effects by the percentage of the population or the surface area in light polluted state.

	POP1	POP2	POP3	SURFACE1	SURFACE2
Intercept	-3.3815* (-16.41)	-3.8766* (-15.08)	-3.4071* (-14.67)	-7.2732* (-11.63)	-10.5663* (-10.32)
GDP per capita	0.0001 2.80E-05 (1.41)	0.0002* 3.63E-05 (2.82)	0.0001 2.23E-05 (0.71)	0.0004* 1.58E-05 (3.77)	0.0004* 2.21E-06 (2.86)
GDP Per Capita Squared	-4.67E-09 -1.17E-09 (-0.99)	-7.82E-09** -1.62E-09 (-2.19)	-9.56E-09 -1.85E-09 (-0.67)	-1.84E-08* -7.39E-10 (-3.17)	-1.59E-08** -9.88E-11 (-2.29)
GDP Per Capita Cubed	6.83E-14 1.71E-14 (0.90)	1.04E-13^ 2.15E-14 (1.85)	2.69E-13 5.21E-14 (0.78)	2.55E-13* 1.02E-14 (2.98)	2.14E-13** 1.33E-15 (2.07)
Urban	0.0411* 0.0103 (8.99)	0.0431* 0.0089 (8.80)	0.0444* 0.0086 (7.26)	0.0275* 0.0011 (2.64)	0.0582* 0.0004 (3.70)
Arable	0.0134** 0.0033 (2.28)	0.0005 0.0001 (0.08)	0.0355* 0.0069 (4.98)	0.0385* 0.0015 (4.02)	0.0186 0.0001 (1.31)
Energy	0.0119** 0.0030 (2.09)	0.0154* 0.0032 (2.90)	0.0115 0.0022 (1.42)	0.0137 0.0006 (1.13)	0.0068 0.0000 (0.57)
Foreign Investment	-0.0059 -0.0015 (-0.32)	-0.0131 -0.0027 (-0.59)	0.0164 0.0032 (0.89)	0.0693^ 0.0028 (1.75)	0.1563* 0.0010 (3.79)
Roads	0.0124* 0.0031 (3.85)	0.0052 0.0011 (1.57)	0.0211* 0.0041 (5.32)	0.0189* 0.0008 (3.71)	0.0169** 0.0001 (2.35)
Number of observations	133	133	133	133	133
Log pseudolikelihood	-48.0544	-46.0003	-42.4396	-25.9593	-13.3809
First turning point	NA	\$16,867.84	NA	\$15,971.18	\$17,063.38
Total effect	NA	0.2546	NA	0.1054	0.0156
Second turning point	NA	\$33,364.72	NA	\$32,329.47	\$32,460.43
Total effect	NA	0.2063	NA	0.0831	0.0131
Percentage decrease	NA	-18.96%	NA	-21.18%	-15.61%

Asymptotic *t*-statistics in parentheses; marginal effects are in bold and are calculated at variable mean values.
*Indicates significance at the 1% level, **indicates significance at the 5% level; and ^indicates significance at the 10% level.
Total effect shows the impact of GDP, via a cubic function, on the dependent measure of light pollution at the turning point. Percentage decrease measures the change in light pollution between the two turning points and equals (TE2/TE1)-1.
NA indicates that no turning point exists (i.e., an inflection point exists in the cubic function but the function is otherwise monotonically increasing).

first turning point. Thereafter, the impact of GDP per capita on POP1 is negative until GDP per capita reaches the second turning point at \$26,035. The bottom of the table shows how much light pollution would be reduced between these levels of income. Notice that the negative impact of GDP per capita between the first and second turning points is relatively slight, having only a negative 2.48% impact on POP1. The decline in light pollution, between turning points, is much larger for POP2 and the two surface variables.

Although Table 4 illustrates the existence of an EKC for all five measures of light pollution, the negative impact between the first and second turning points is noteworthy only for 3 of the 5 measures of light pollution, POP2, and SURFACE1 and SURFACE2. For these light pollution measures, sharply increasing GDP per capita between the first and second turning points reduces light pollution by between 23 and 31%. Further, the tests of the EKC provided in Tables 4 and 5 are only relevant around mean values for per capita GDP, given that marginal effects vary as GDP per capita varies.

Table 4 also shows that, as expected, the percentage of land that is arable has a positive impact on light pollution. That is, less desert and the like tends to be associated with more light pollution. These results are statistically significant for 3 out of the 5 measures of light pollution. The expanded models in Table 5 show similar results, with the same positive relationships and statistical significance for the same three measures of light pollution.

One of the main problems with using the cross-sectional country-level economic data with the light pollution atlas data, is that many countries have missing values for the economic data. Different economic variables have more or fewer numbers of missing values. For example, a total of 184 countries have both light pollution atlas data and at least some economic data. However, increasing the number of economic variables in the

fractional logit regressions has the impact of reducing the number of observations. The fractional logit regression coefficients presented in Table 4 are based on 157 of the original 184 countries. Thus, the most parsimonious models have the advantage of increased numbers of observations.

Table 5 presents fractional logit regression estimates with three additional economic explanatory variables and, hence, a decreased number of observations, now only 133 countries. The additional economic variables included in Table 5 are energy resources extracted during the year and FDI, both as a percent of gross national income. Finally, the percentage of total roads in the country that are paved is included as an additional measure of economic development.

Along with the reasons outlined above, energy extraction is likely to increase levels of pollution, including light pollution, simply because it is activity that occurs in the country. Table 5 illustrates that this expectation is met in the fractional logit regression estimates with energy extraction being positively associated with light pollution. In general, the impact of energy extraction has a statistically significant impact in the models where light pollution is population based but not when light pollution is surface area based. Moreover, the impact of energy extraction is relatively large with a marginal effect of approximately .003 for the population measures of light pollution. In other words a 10% increase in energy extraction yields a 3% increase in the percentage of the population living in a light polluted state.¹⁴ Thus, referring to the statistics in Table 3 for energy extraction, if we compared

¹⁴ As Table 3 illustrates, the five measures of light pollution are fractions that vary between 0 and 1. However, all the other variables that are percentages are measured in percentage terms and vary between 0 and 100.

a country with the minimum, zero percent of its gross national income, to a country with the maximum 73% then the percent of the population living in a light polluted state would rise by 21.9%.¹⁵

Foreign direct investment affects the nature, scope, and scale of capital projects. Table 5 shows that FDI generally decreases the percentage of the population affected by light pollution, though this effect is statistically insignificant. In contrast, increased FDI tends to increase the surface area affected by light pollution, and these estimates are statistically significant. While the impact on the population variables is statistically insignificant, their contradiction with the positive impact on the surface variables is interesting and may warrant further investigation. It suggests that FDI helps push development into the hinterland. One can readily imagine examples, such as projects involving mining or logging, where this might be the case.

Likewise, Table 5 illustrates that a more developed infrastructure as measured by the percentage of roads paved within the country also tends to increase light pollution. The coefficient estimates for Roads is positive for all measures of light pollution, and statistically significant in four of the five models.

Table 5 shows that adding the three additional explanatory variables, FDI, energy depletion, and percent of roads paved have little impact on the estimated impact of any of the other explanatory variables. For example, adding these additional measures of economic activity change none of the signs on the coefficient estimates for GDP per capita although in a few cases these coefficient estimates do become statistically insignificant. These results are consistent with Harbaugh et al. (2002) who found that the existence of an EKC was sensitive to functional form and the other economic explanatory variables in the regression results. Table 5 does still find the existence of an EKC, however, for the same three measures of light pollution as in Table 4, POP2, SURFACE1, and SURFACE2.

Taken together the fractional logit regression results presented in Tables 4 and 5 are a unique contribution to the environmental literature, not the least because they provide the first evidence regarding the importance of economic activity to global light pollution. In general, the regression results provide consistent evidence that both population and economic activity are important explanatory variables when it comes to light pollution. The regression results provide evidence that GDP and light pollution have a nonlinear relationship consistent with various supply-side and demand-side factors that can yield an EKC.

5. Conclusion

Light pollution is a serious problem with implications for wildlife, human health, scientific research, energy consumption, global warming, and the ageless pastime of observing the night sky. Pristinely dark skies are very scarce in the developed world and most of the world's population—and nearly all of those living in the EU or the US—live under skies with at least some light pollution. Economists have largely ignored this issue, and existing models of light pollution emphasize population as the determining factor. We have combined unique remote sensing data on light pollution with economic data from the World Bank to estimate fractional logit regression light pollution models.

These models show that population, as measured by the percent of the population living in urban areas, remains an important explanation for the existence of light pollution. However, real per capita GDP also tends to be a highly significant variable in explaining the percent of a country's population affected by different levels of light pollution. The relationship between income and light pollution is non-linear as

might be expected from an EKC. Other economic factors such as foreign investment and land use patterns also tend to be significant.

Quantifying the link between real GDP and various levels of light pollution across the globe is a significant first step in correcting economists' neglect of this important environmental issue. However, much remains to be done. For example, it would be useful to know what types of industries, if any, are most closely tied to light pollution. This question, and many others, remained unanswered in no small part because of the absence of uniform data, especially in developing countries. More progress can be expected as more and better data become available. Astronomers and others continue efforts to collect satellite data and refine their modeling techniques. Our future research will focus on regions, such as the United States, where light pollution is very common and better economic data is available. Continued research in this area is needed and will help illuminate the economic aspects of light pollution.

Acknowledgements

The authors would like to thank, Ashlie Blanzly, Ryan Koory, and Kristen Sanocki for their assistance with research and entering data. We also thank three anonymous referees for their suggestions and constructive criticism. Together, they have greatly improved this paper. Of course, we are responsible for any remaining shortcomings.

References

Baumol, William J., Oates, Wallace E., 1971. The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment. Swedish Journal of Economics 73, 42–54.
Bertiau, F.C.S.J., de Graeve, E.S.J., Treanor, P.J.S.J., 1973. Vatican Observatory Publications 1 (4), 159.
California Energy Commission, 2005. Nonresidential Compliance Manual.
Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C.D., 2001. The First World Atlas of the Artificial Night Sky Brightness. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 328, 689–707.
Cinzano, P., Falchi, W.F., Elvidge, C.D., Baugh, K.E., 2000. The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 318, 641–657.
Davis, Scott, Mirick, Dana, Stevens, Richard, 2001. Night Shift Work, Light at Night, and Risk of Breast Cancer. Journal of the National Cancer Institute 93 (20), 1557–1562.
Department of Energy, Energy Information Administration, 2006. Electric Power Annual. GPO, Washington, D.C.
Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, 2001. National Household Travel Survey. GPO, Washington, D.C.
Environmental Protection Agency, Office of Transportation and Air Quality, 2006. Light-duty automotive technology and fuel economy trends: 1975 through 2006. GPO, Washington, D.C.
Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Kihn, E.A., Kroehl, H.W., Davis, E.R., 1997. Mapping of city lights using DMSP Operational Linescan System data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 63, 727–734.
Elvidge, C.D., Imhoff, M.L., Baugh, K.E., Hobson, V.R., Nelson, I., Safran, J., Dietz, J.B., Tuttle, B.T., 2001. Nighttime lights of the world: 1994–95. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 56, 81–99.
Font, Antoni Riera, 2000. Mass tourism and the demand for protected natural areas: a travel cost approach. Journal of Environmental Economics and Management 39 (1), 97–116.
Gallaway, Terrel, in press. On light pollution, passive pleasures, and the instrumental value of beauty. Journal of Economic Issues 44.
Goode, J. Paul, 1925. The homolosine projection: a new device for portraying the earth's surface entire. Annals of the Association of American Geographers 15, 119–125.
Grossman, G.M., Krueger, A.G., 1995. Economic Growth and the Environment. Quarterly Journal of Economics 110, 353–377.
Harbaugh, W.T., Levinson, A., Wilson, D.M., 2002. Reexamining the empirical evidence for an environmental Kuznets curve. The Review of Economics and Statistics 84, 541–551.
He, Jie, 2008. Foreign direct investment and air pollution in China: evidence from Chinese cities. Region et Developpement 28, 131–150.
Kerenyi, N.A., Pandula, E., Feuer, G., 1990. Why the incidence of cancer is increasing: the role of 'Light Pollution'. Medical Hypotheses 33, 75–78.
Kuznets, S., 1955. Economic growth and inequality. American Economic Review 45, 1–28.
Mayhew, Craig, Simmon, Robert, 2000. NASA GSFC. "Earth's City Lights". Data courtesy Marc Imhoff of NASA GSFC and Christopher Elvidge of NOAA NGDC.
Merlevede, Bruno, Verbeke, Tom, De Clercq, Marc, 2006. The EKC for SO2: does firm size matter? Ecological Economics 59 (4), 451–461.
Murdock, Jennifer, 2006. Handling unobserved site characteristics in random utility models of recreation demand. Journal of Environmental Economics and Management 51 (1), 1–25.

¹⁵ Of course, the marginal effects vary along the distribution of energy extraction.

00327 VTA

- Papke, Leslie E., Wooldridge, Jeffrey M., 1996. Econometric methods for fractional response variables with an application to 401(K) plan participation rates. *Journal of Applied Econometrics* 11 (6), 619–632.
- Picazo-Tadeo, Andres, Reig-Martinez, Ernest, 2007. Farmers' cost of environmental regulation: reducing the consumption of nitrogen in citrus farming. *Economic Modelling* 24, 312–328.
- Rich, Catherine, Longcore, Travis, 2006. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press, Washington, D.C.
- Ristinen, Robert, Kraushaar, Jack, 2006. *Energy and the Environment* 2nd edition. John Wiley, United States.
- Salmon, M., Witherington, B.E., 1995. Artificial lighting and sea finding by loggerhead hatchlings: evidence for lunar modulation. *Copeia* 1995 (4), 931–938.
- Salmon, M., Tolbert, M.G., et al., 1995. Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. II. Hatchling orientation. *Journal of Herpetology* 29 (4), 568–576.
- Shimshack, Jay P., Ward, Michael B., Beatty, Timothy K.M., 2007. Mercury Advisories: Information, Education and Fish Consumption. *Journal of Environmental Economics and Management* 53, 158–179.
- Smith, F.G., 1979. *IAU Trans.*, XVIIIA, p. 218.
- Sobotta, Robin R., Campbell, Heather E., Owens, Beverly J., 2007. Aviation noise and environmental justice: the barrio barrier. *Journal of Regional Science* 47 (1), 125–154.
- Steinwand, D.R., 1993. Mapping raster imagery into the interrupted Goode Hololosine Projection. *International Journal of Remote Sensing* 15, 3463–3472.
- Verheijen, F.J., 1985. Photopollution: artificial light optic spatial control systems fail to cope with. Incidents, causations, remedies. *Experimental Biology* 44, 1–18.
- Walker, M.F., 1977. The effects of urban lighting on the brightness of the night sky. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 89, 405–409.
- Wirl, Franz, 2007. Energy prices and carbon taxes under uncertainty about global warming. *Environmental And Resource Economics* 36, 313–340.
- Witherington, B.E., Bjørndal, K.A., 1991. Influences of artificial lighting on the seaward orientation of hatchling loggerhead turtles. *Biological Conservation* 55, 139–149.
- World Bank, 2002. *World Development Indicators 2002*. The World Bank, Washington, DC.
- World Bank, 2009. *Global Gas Flaring Reduction Partnership*. Website, Permanent URL: <http://go.worldbank.org/425VOGDYS0>.

The melatonin factor

00328

Richard Stevens of the University of Connecticut Health Center recounted much of the epidemiologic evidence that links the disruption of circadian rhythms to the development of cancer. He noted that the incidence of breast cancer continues to rise around the world, and is especially high in the U.S. and Western Europe. Decades of intensive research have failed to confirm the once popular hypothesis that a high fat diet is responsible for this increase. Melatonin reduces the production of reproductive hormones such as estrogen and progesterone, which led to the hypothesis that at least some of the increased cancer risk in industrialized societies, particularly for hormonally driven cancers like breast and prostate, is due to light at night and the consequent reduction in circulating melatonin levels.

This hypothesis makes a number of predictions, including that shift workers would be at higher risk of breast cancer, and that profoundly blind women would be at lower risk. Multiple epidemiologic studies have shown that these predictions are correct, and have uncovered a link between light at night and prostate cancer as well. The evidence is compelling enough that the International Agency for Research on Cancer (IARC) concluded in a 2007 review article that "shift work that involves circadian disruption is probably carcinogenic in humans." Stevens also reviewed recent genetic studies of the association between circadian clock gene polymorphisms and the risk of developing cancer. He said that multiple such associations have been found but thus far they have been modest in magnitude, and it is not yet known if they are replicable between studies.

Eva Schernhammer of Harvard Medical School is a researcher involved in the Nurses' Health Study, which consists of two long-term prospective studies of women's health that have produced key evidence for the link between circadian rhythm disruptions and cancer. Schernhammer described how melatonin levels vary among individuals, based on factors such as age, diet, body mass index (BMI), lack of sleep, or the need to be awake at night due to shiftwork. Studies have shown that people who work the night shift have lower levels of melatonin. Melatonin has a number of possible roles in cancer prevention: it may act as an antioxidant, as an immunomodulator, or it may reduce the levels of reproductive hormones. Reduced melatonin levels may also affect the expression of multiple other chemical messengers, in turn leading to increased risk for many different types of cancers.

In the Nurses' Health Study, shift workers had a 36%–79% increased risk of breast cancer.

The Nurses' Health Study included two prospective cohort studies, one beginning in 1976 and the other in 1989, for a total of around 250,000 women. When the data were adjusted for BMI, alcohol intake, and exercise levels, these studies showed that shift workers had a 36%–79% increased risk of breast cancer. Shift workers also had a 35% increase in the risk of colorectal cancer and a 43% increase in the risk of endometrial cancer. The 1989 study also showed that higher melatonin levels were associated with a 41% reduction in the risk of breast cancer. Many of these findings have been confirmed and extended by other studies.

Schernhammer said that it is estimated that 15 million Americans work night shifts. More African Americans work night shifts than whites, and most are men, except in certain professions such as nursing. Protecting the health of these workers is an important public health problem. At this time, it is unknown whether interventions such as melatonin supplementation or providing special light conditions are safe and would reduce cancer risks. It is also unknown whether there is a specific time of life when humans are more vulnerable to cancers caused by light at night, or whether changes such as limiting the number of years on the night shift might mitigate risks. These are topics of future research in this area.

George Brainard of Jefferson Medical College at Thomas Jefferson University presented his work on the characteristics of light transmission by the eye and how they are related to melatonin production in humans.

He and his group are examining multiple aspects of ocular physiology, including behavioral characteristics such as gaze, physical characteristics of the lens and pupil, and the location and sensitivity of photoreceptors responsible for melatonin regulation.

Brainard described highly detailed studies intended to uncover how much light and which part of the light spectrum is most important for inhibiting melatonin production. Human subjects were exposed to monochromatic light during the night under very controlled conditions and their melatonin levels measured. The researchers found that melatonin production is reduced most by light in the blue region of the spectrum, compared to the visual system for which responses peak in the yellow to green region. They also found that only very low levels of light are needed to affect human melatonin production. Their findings could have important implications for understanding how light exposure in the real world affects melatonin production, how light at night might affect human health, and how these effects might best be mitigated.

Molecular mechanisms

Steve Hill of the Tulane Cancer Center is investigating the molecular mechanisms that might link melatonin to the prevention or treatment of cancer. *In vitro*, melatonin has been shown to have direct effects on cancer cells—for example, suppressing the growth and proliferation of breast cancer cells in an effect that is mediated by the melatonin receptor, MT-1. Hill and his group have found that a portion of the MT-1 receptor population is localized to lipid rafts, cell membrane platforms that form gathering places for important signaling molecules, including many of the receptors and kinases involved in cancer. They are working to identify and trace specific signaling pathways that might link MT-1 to cancer, including well known pathways that are aberrant in cancer such as Raf, ERK/MEK, and AKT. The estrogen receptor, whose activity promotes the growth of many breast cancers, is modulated by the activities of many of these pathways.

Hill and his group have found that melatonin reduces the expression of estrogen receptor- α , and also modulates the expression of a variety of other nuclear and/or steroid hormone receptors. These results and others led Hill to test 9-cis-retinoic acid, a ligand of the nuclear retinoid X receptors (RXRs), in combination with melatonin as a treatment for carcinogen-induced tumor formation in rats. RXRs are thought to be involved in the regulation of a large number of metabolic and developmental pathways, many of which are implicated in cancer. The 9-cis-retinoic acid/melatonin combination reduced tumor incidence from 90% to 5%–12%, and also induced complete or partial tumor regression in many cases. The overall response rate to this treatment was 98% if tumor stasis was also taken into account, suggesting a high potential payoff for therapies based on this approach.

The activity of melatonin, the melatonin receptor, and clock genes suggest many potential drug targets against cancer.

Hill and his group are pursuing many other aspects of the melatonin–cancer link. They found that melatonin also appears to play a role in tumor invasion and metastasis, a role that is mediated by the p38 MAP kinase signaling pathway and whose downstream effects may be on the expression of matrix metalloproteases, which are important for tissue invasion. They are also investigating the roles of clock genes such as *Per2*, *Cry2*, and *Sirt1* in the control of cell proliferation, cell cycle, and apoptosis in breast cancer cells. Their research has identified many points at which melatonin, the melatonin receptor, and/or clock genes could be involved in cancer initiation, promotion, and progression, suggesting multiple new targets for drugs that might prevent or treat primary cancers or metastases.

David Blask and his group at the Tulane University School of Medicine are interested in the interactions between light, circadian timing disruption, and diet in the development of cancer. They have focused on the role of linoleic acid, which is the most common fatty acid in our diets. Linoleic acid consumption has risen at

the same time as the use of electric light has increased. This fatty acid provides an excellent source of caloric energy for cancers to use as they increase their biomass, and also plays an important signaling role in cell proliferation.

At the cellular level, uptake of linoleic acid is initiated by activation of the protein kinase A (PKA) signaling pathway. Once it enters the cell, a metabolite of linoleic acid, known as 13-HODE, participates in further signaling pathways that promote cell proliferation. Melatonin downregulates PKA, thus reducing linoleic acid uptake and inhibiting these growth-promoting pathways. This phenomenon has been shown to occur in human breast, head and neck, and urogenital cancers.

Blask and his group are investigating the details of this phenomenon by studying the influence of light on human breast cancer xenografts grown in nude mice, which lack intact immune systems and are unable to reject foreign tissue. If the mice are kept on a regular light/dark schedule, linoleic acid uptake and 13-HODE production are rhythmic in the tumors, peaking late in the day. But if the mice are exposed to light at night, this rhythm is lost and these levels stay high all of the time. Tumor growth rates were also found to be rhythmic. The tumors still grew in the presence of an intact light/dark cycle, but growth rates were dramatically increased when this cycle was disrupted or absent. The investigators are working to confirm these findings in humans, and to extend them to other cancers, including prostate.

Relationship between Clock Components and Cancer

Speakers:

Patricia Wood, University of South Carolina

Xiaoming Yang, University of South Carolina

H. Phillip Koeffler, University of California, Los Angeles

William Hrushesky, University of South Carolina

Highlights

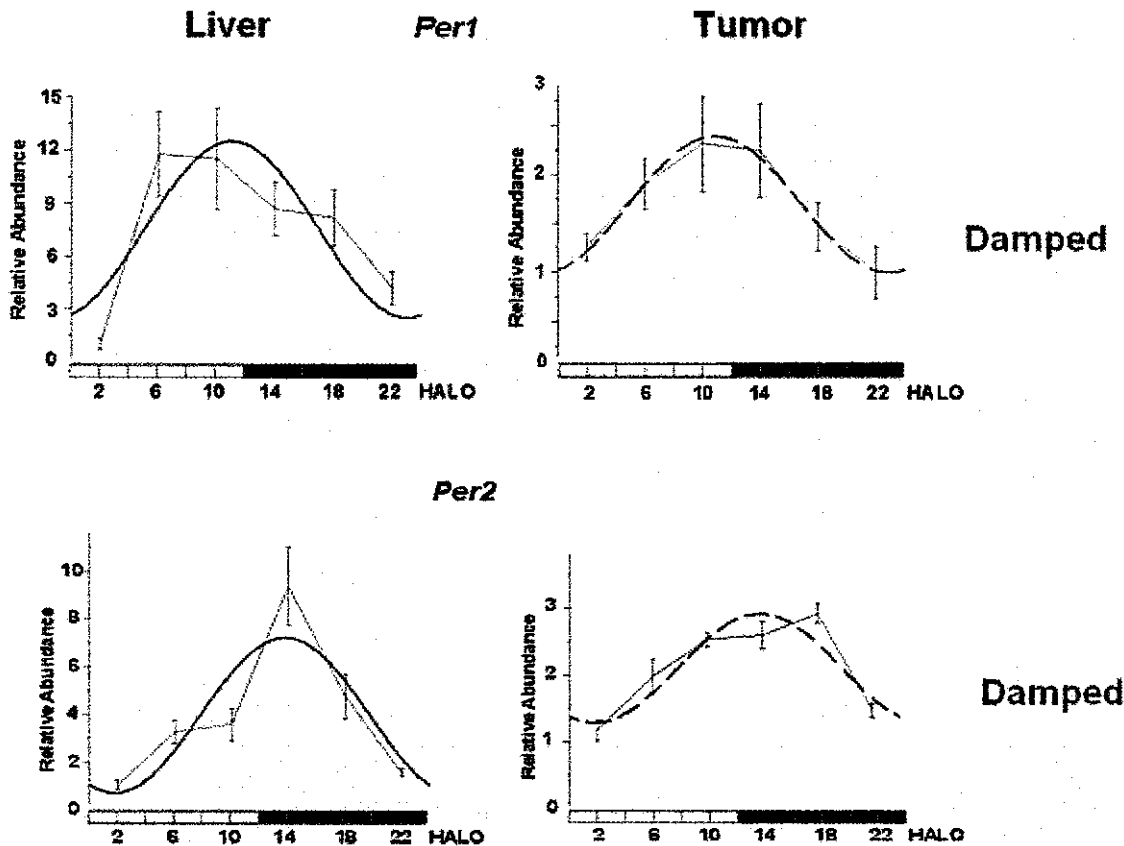
- Mice with mutations in the circadian clock gene *Per2* develop tumors that are resistant to radiation-induced apoptosis.
- The PER2 protein may act as a tumor suppressor by regulating the beta-catenin signaling pathway.
- Tumors appear to have their own internal clocks.
- *Per2* gene expression is regulated by the C/EBP family of transcription factors.

Periodicity

The operation of the circadian clock itself and the mechanisms by which changes in clock genes and proteins could be involved in causing cancer or promoting its growth are topics of intense investigation. **Patricia Wood** of the University of South Carolina described her research on the role of the *Period* genes *Per1*, *Per2*, and *Per3*. These genes, together with the *Cry*, *Clock*, and *Bmal1* genes, form the central mechanism of the circadian clock by participating in a complex series of negative and positive feedback loops that control their expression levels in a daily rhythm. Genetic studies have linked changes in *Period* genes, and the Period (PER) proteins that they encode, to the developmental pathways of cancer. Mice with mutations in the *Per2* gene develop tumors that are resistant to radiation-induced apoptosis. Wood hypothesized that *Per2* mutations might act synergistically to accelerate tumor formation in mice that also had a mutation in the *Apc* gene, which creates a genetic predisposition for the development of intestinal tumors. They found that mice carrying mutations in both genes did in fact develop almost twice as many tumors as mice carrying the *Apc* mutation alone.

They investigated the mechanism of this synergistic effect, focusing on two reciprocal hypotheses. One hypothesis is that *Per2* affects beta-catenin signaling, which is known to be increased in mice with *Apc* mutations and is part of the mechanism of tumor formation. The other hypothesis is that *Apc* mutations might cause abnormalities in circadian clock function, thus affecting *Per2* function. Further experiments have provided support for both hypotheses. When unmutated, *Per2* was found to suppress the formation of intestinal tumors in mice through a mechanism that involves the regulation of beta-catenin and its downstream targets. On the reciprocal side, they found that both the daily levels and the rhythm of PER2 protein expression were depressed in mice with *Apc* mutations. These results contribute to a large, developing body of research that suggests that PER proteins act as tumor suppressors, and that reinforces their value as potential targets for anticancer therapies.

Xiaoming Yang, who works with Wood at the University of South Carolina, presented his work, which is intended to further elucidate the role of the *Period* genes and their encoded proteins in tumors and in normal tissues. Yang described evidence that PER proteins are tumor suppressors, including the observation that overexpression of PER1 or PER2 can inhibit breast cancer growth, as well as the fact that *Per* mutations, low PER protein expression, and alterations in the epigenetic regulation of *Per* genes are found in many types of cancers.



PER protein expression is lower in the tumors, with a peak that is 5-fold lower than expression in the liver. The time of peak expression is shifted compared to that in the liver.

Yang found that PER1 and PER2 were expressed with a circadian rhythm in normal mouse liver. Expression of these proteins was high at night and low in the daytime. He found that tumor growth in mice followed a

circadian rhythm as well, with peaks in growth rate occurring once at night and once during the day. PER protein expression was lower in the tumors, and the time of peak expression was shifted compared to normal tissues. Yang found alterations in the expression other clock-controlled genes in the tumor as well. Reducing the expression of *Per* genes in the tumors both increased their growth and altered the circadian growth rhythm. Yang's findings suggest that tumors have their own internal clocks, but that they can respond to signals from the organism's clock as well. The details of these complex interactions remain to be determined. Yang's results also suggest that it is important to take circadian rhythm into account when measuring tumor growth rates, since they change at different times in the daily cycle.

Hematologic malignancies are among the cancers that have been shown to have reduced PER1 and PER2 expression. **H. Phillip Koeffler** and his group at the University of California, Los Angeles, are studying the role of abnormalities in *Per2* gene expression in such malignancies. They are particularly interested in the C/EBP family of transcription factors, which play important roles in energy metabolism, adipogenesis, and myelopoiesis, and have been implicated in the control of *Per* gene expression as well.

Using cultured cells, Koeffler and his group have shown that two members of this family, C/EBP- α and C/EBP- ϵ , directly regulate the *Per2* promoter. Increased expression of these transcription factors upregulates *Per2* expression in human leukemia cell lines. They are investigating the expression of these transcription factors and *Per2* in tissue samples from patients with a variety of leukemias and lymphomas. Lymph node and bone marrow samples from acute myeloid leukemia patients show that many have reduced *Per2* expression. Patients with diffuse large B-cell lymphomas show reduced *Per2* expression as well as dysregulation of C/EBP- α levels. However, these types of changes were not seen in patients with follicular non-Hodgkins lymphoma or mantle cell leukemia. These findings suggest a role for circadian clock genes in the initiation and/or progression of some, but not all, types of leukemia and lymphoma.

William Hrushesky of the University of South Carolina assessed what is known and what needs to be discovered in order to manipulate the circadian clock to control or prevent cancer. He said that in humans it is clear that circadian disruptions alter the host/cancer balance and promote cancer growth. This conclusion can be drawn from many lines of evidence, including epidemiologic research on people with circadian disruptions, genetic research on the associations between cancer risk and clock gene polymorphisms, and from the fact that many human tumors contain clock gene mutations. Much information has also been gathered about the potential role of melatonin in cancer suppression, and preceding speakers had provided significant detail on the experimental systems that have been developed to investigate the mechanisms behind these observations.

Unanswered questions about the role of circadian disruption in cancer.

Yet quite a few unanswered questions remain. What are the relative contributions of the host's versus the tumor's clock in cancer growth? Can clock gene mutations be used as prognostic indicators in human cancers? Melatonin and many clock proteins also have non-clock functions; what is the importance of these functions in cancer initiation and progression? What is the role of host and tumor melatonin receptors in these processes?

Hrushesky noted that cancer might be caused by general circadian disruption, or by the presence of specific clock gene changes that promote abnormal cell growth and proliferation. In the first case, diminishing the disruption and restoring a normal rhythm might be sufficient to prevent or control cancer. This could be done using behavioral, endocrinologic, or pharmacologic interventions. In the second case, however, cancer therapies will need to be targeted at specific genes or gene products to successfully prevent or treat cancer via circadian mechanisms.

Circadian Disruptions Caused by Cancer

Speakers:

William Hrushesky, University of South Carolina

Georg Bjarnason, Sunnybrook Odette Cancer Center, Toronto

Tyvin Rich, University of Virginia

Steve Lockley, Harvard Medical School

Elisabeth Filipiski, French Institute of Health and Medical Research

Keith Block, Block Center for Integrative Cancer Treatment

Russel Reiter, The University of Texas Health Science Center

Highlights

- Lung cancer patients with higher levels of circadian disruption showed higher rates of anxiety and depression and scored lower on quality of life indices.
- There are large differences in rhythmic gene expression in men versus women.
- Administration of melatonin can help blind people entrain to the day/night cycle, and thus may also be useful in regulating the circadian rhythms of individuals with cancer.
- Cytokines can affect the SCN and the high levels produced in disease situations may cause the mood and sleep disorders associated with them.
- Meal timing can induce stable circadian rhythms in mice without an SCN, suggesting that behavioral approaches may also promote more stable rhythms in cancer patients.
- Holistic approaches that include consideration of circadian rhythms may improve the effectiveness and tolerability of cancer treatment.
- Melatonin has many overlapping actions in addition to clock entrainment, including roles in the immune system and as an antioxidant.

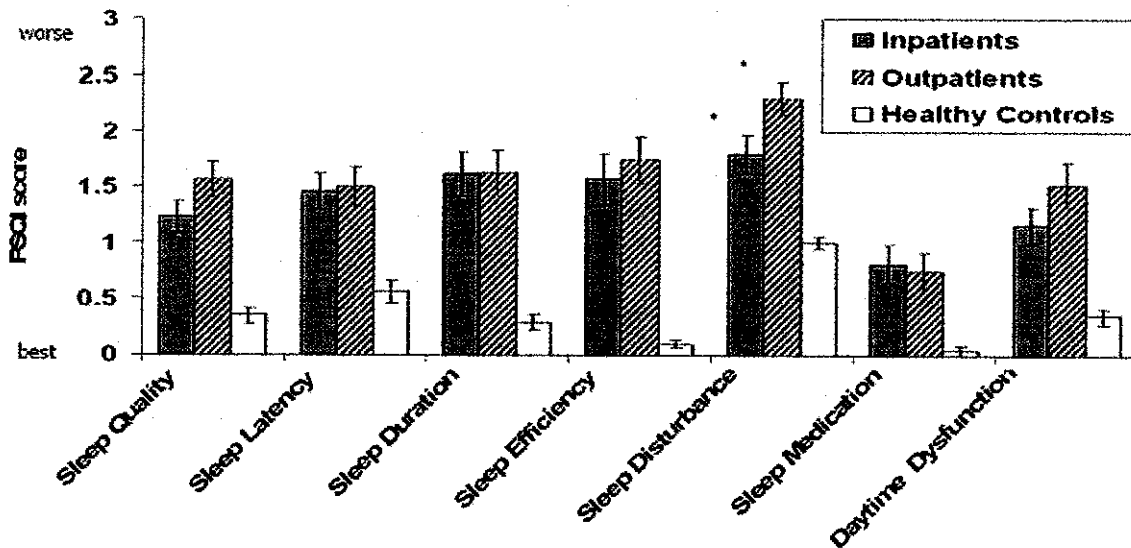
Improving quality of life

In addition to arising from circadian disruptions, cancer and cancer treatments frequently cause circadian disruptions, leading to a greatly reduced quality of life for many cancer patients. Many patients, particularly those with advanced cancer, suffer from poor sleep at night, daytime fatigue, reduced appetite, muscle wasting, reduced mental and physical functioning, anxiety, depression, and other debilitating symptoms. Many researchers believe that treating circadian disruption in these patients will improve their quality of life and may also lead to improved survival.

William Hrushesky initiated the discussion of this topic with a description of his clinical studies that are intended to improve the last year of life for patients with advanced lung cancer. Previous studies in colorectal cancer showed that many patients had increased levels of nocturnal activity and daytime sleeping, and that higher levels of circadian disruption were associated with reduced survival rates. Hrushesky and his group are in the initial stages of a study to investigate whether the same holds true for patients with lung cancer, and whether interventions that improve circadian rhythm can improve quality of life and survival rates for these patients.

He and his group have designed a research program that combines objective monitoring of patient activity by actigraphy with more subjective tools, such as patient questionnaires, that ask about quality of life, fatigue, anxiety and depression, sleep habits, and other potentially related symptoms. This wide array of research tools was used to assess the degree to which circadian rhythms were disrupted in 84 lung cancer patients, half of whom were hospitalized and half of whom were at home. Completion of these baseline assessments showed that most of these patients slept very badly, particularly when they were in the hospital, and that patients whose sleep patterns showed higher levels of circadian disruption also showed

higher rates of anxiety and depression and scored lower on quality of life indices.



Lung cancer patients, especially those in the hospital have much worse scores on the Pittsburg Sleep Quality Index (PSQI), which measures seven components related to sleep.

These assessments have validated circadian disruption as an important therapeutic target in advanced lung cancer patients. Further studies will assess the effects of interventions intended to improve circadian rhythm, which may include exercise, exposure to full spectrum light at certain times of the day, optimization of sleep hygiene, melatonin supplementation, and others.

Georg Bjarnason of the Sunnybrook Odette Cancer Center in Toronto is investigating the role of circadian rhythm in the success of colorectal cancer treatment. He and his collaborators compared the effect of giving colorectal cancer patients a well known treatment regimen, known as FOLFOX, at undefined times, with the same treatment regimen optimized for circadian timing, known as ChronoFLOX. While they found no difference in survival for the ChronoFLOX treated group as a whole, they found that this treatment dramatically improved survival in men but had the opposite effect in women, even though the men and women had no major differences in their sleep/activity patterns.

The expression patterns of most rhythmic genes differ between men and women.

Bjarnason and his group are investigating the biological basis for this phenomenon by examining genomic and proteomic differences between men and women in the expression of rhythmic genes. They have found that out of about 2000 rhythmic genes, only 200 were expressed in patterns that overlapped between men and women. Other investigators have found that about half of rhythmically expressed proteins were associated with RNAs that were not rhythmically expressed. These findings suggest that there is still much to be learned about when and how the circadian clock controls gene and protein expression, and how that control is affected by gender.

Bjarnason and his group are also looking at the differences in rhythmically expressed genes between cancer cells from male and female patients. These findings have important implications for drug development because drug candidates are often tested in cell cultures, which do not have circadian rhythms, or in rats and mice, which are nocturnal and are likely to have very different patterns of gene expression at the time of day when they receive the experimental agents compared with humans, who are diurnal.

The development of cancer is often accompanied by a cytokine storm, that is, greatly increased levels of a wide range of immunological and inflammatory messenger molecules, resulting in the disruption of normal physiological functioning. **Tyvin Rich** of the University of Virginia is studying the effects of this storm and its relationship to the disruption of circadian rhythm in cancer patients. High levels of cytokines and other immunomodulatory molecules can result in pain, increased drug toxicity and resistance, psychobehavioral changes, and other symptoms, and may promote cancer recurrence and progression as well. Rich suggested that the effects of these cytokines on the SCN, which contains cytokine receptors, may explain the clustering of common cancer symptoms such as fatigue, depression, and loss of appetite.

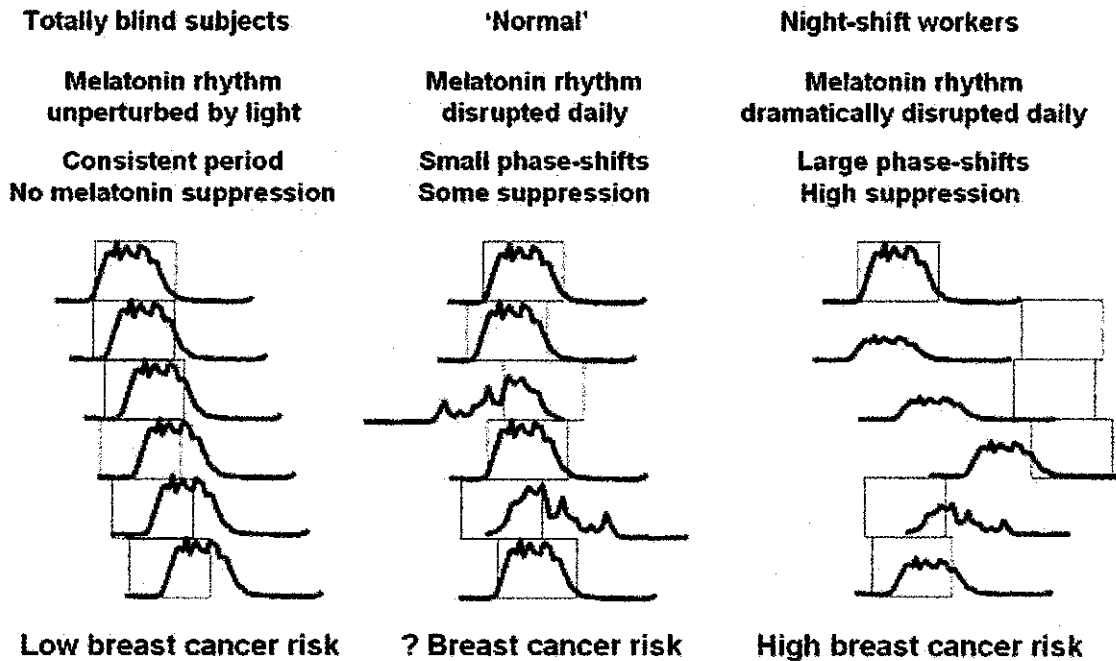
He and his group are studying the relationship of fatigue and other quality of life indicators to serum levels of cytokines in cancer patients with a wide range of tumor types. Their studies have shown that in general, cancer patients have higher levels of the cytokines IL-6 and IL-8 than normal controls. However, patients in their study who had more robust circadian rhythms had lower levels of IL-6, as well as less fatigue and loss of appetite. Patients whose circadian rhythms were disrupted had the opposite characteristics. The researchers also found that patients with disrupted rhythms had elevated levels of EGFR ligands and VEGF in their blood, a finding that has important implications for the use of targeted cancer therapies that depend on blocking the receptors for these molecules.

The success of interventions to promote more robust circadian rhythms in cancer patients depends on a good understanding of these rhythms and how they are entrained by exposure to melatonin and light. **Steve Lockley** of Harvard Medical School shared his expertise on melatonin cycles in humans and how to use melatonin supplementation and/or light therapy most effectively.

Lockley noted that melatonin secretion does not require periods of light and darkness to be rhythmic, but that these signals are what entrains the internal clock to the external day/night cycle. Blind people often produce melatonin in a rhythmic pattern, but because their cycles are usually more or less than 24 hours their rhythm drifts away from the actual day/night cycle. This drift can be treated with melatonin, which when given at the appropriate time can either advance or delay the cycle as needed. Giving exogenous melatonin changes the time of the melatonin peak and thus promotes sleep at night when it is more appropriate. Melatonin given in the early evening advances the clock, while melatonin given in the morning delays the clock. In cancer patients who are sighted, light could also be used similarly to advance or delay the clock and promote more robust rhythms.

Lockley described a study of 1367 blind women from the U.S. and Canada who had varying degrees of light perception. They found that profoundly blind women, who had no light perception at all, had about half the risk of breast cancer of blind women with some residual light perception, after adjustment for other factors including reproductive parameters such as exposure to estrogen. Increased estrogen exposure is a known risk factor for breast cancer. Their study also showed that profoundly blind girls tended to reach menarche earlier, and thus are exposed to more estrogen over the course of their lives, yet their risk of breast cancer was still lower than in women with some light perception. Lockley and his group are working to better understand the relationship between light perception, melatonin levels, and estrogen exposure as they relate to breast cancer risk.

Continuum of internal circadian des



Normal are not strict LD cycle

e.g. How do 12:12 LD compare to real human sleep-wake cycles in animal models?

Breast cancer risk is associated with suppressed melatonin levels and disrupted melatonin rhythms.

There are many potential benefits to using light or melatonin therapy to stabilize circadian rhythms in blind people, cancer patients, or other populations. Such interventions can standardize sleep-wake timing with the rest of society, improve mood and alertness, and make other changes in quality of life parameters. Lockley also suggested that a stabilized cycle might be valuable in cancer patients by allowing health care providers to match the patient's clock to optimal treatment times.

Alterations in daily rhythms of rest-activity or in blood levels of the hormone cortisol have been shown to predict poor survival in patients with metastatic colorectal, metastatic breast, and early stage lung cancer. **Elisabeth Filipski** of the French Institute of Health and Medical Research is studying this phenomenon in a number of experimental mouse models. Circadian rhythms can be disrupted in mice using a variety of methods, including destruction of the SCN, introducing clock mutations, or providing unevenly varying patterns of light and darkness that put mice in a state resembling chronic jet lag. Filipski is using these models to investigate the connections between tumor growth and circadian disruption.

Enhancing the circadian clock in peripheral tissues, including the tumor itself, may have beneficial effects.

She and her group have shown that mice whose SCNs have been ablated show faster growth in at least two types of tumors, Glasgow osteosarcoma and pancreatic adenocarcinoma. Mice with chronic jet lag show changes in clock gene expression in their livers, and tumors in their livers grow faster. Filipski has also shown that meal timing can be used to entrain mice whose SCNs are ablated back to a stable rhythm, reducing tumor growth rates. This type of circadian reinforcement also reduced tumor growth rates in mice

00332 VTA

with chronic jet lag. These results suggest that enhancement of the clock in peripheral tissues, including the tumor itself, may have beneficial effects that are just as important as reinforcing the rhythm of the central clock.

Keith Block of the Block Center for Integrative Cancer Treatment, Chicago, rounded out the session by describing his efforts to include treatment for circadian disruption into an integrative model of cancer treatment that also includes diet and lifestyle interventions; treatment to improve biological factors such as oxidative stress, inflammation, and immune disruptions; and treatment of the pathological aspects of cancer. This approach includes multiple interventions that are intended to produce and maintain circadian integrity, both as a means of improving quality of life and potentially improving the odds for survival.

Block described how quality of life issues such as fatigue, insomnia, constipation, and lack of appetite can be related to biochemical disruptions, such as changes in inflammation, growth factors, and immune status, and clinical complications, such as appetite suppression, muscle wasting, pneumonia, headache or pain. These symptoms may exacerbate treatment side effects and sometimes even prevent appropriate treatment from being administered. Such issues may lead to the recurrence or progression of cancer, or to more serious, life-threatening complications that might otherwise have been avoided. Additionally, research demonstrates that patients who are unable to maintain optimal chemotherapy dosing, suffer from interrupted treatment scheduling, or are simply unable to complete a full course of treatment, face poorer response and shorter survival. Thus health status and other factors impacting quality of life issues can be directly related to patient survival.

Many of these issues can be addressed by minimizing circadian disruption and prescribing therapies to reset a patient's clock. Block and his coworkers have designed an individualized program that assesses quality of life and circadian disruptions and addresses as many issues as possible for each cancer patient. Their program includes not only change in the content of diet but also when particular foods are to be eaten. Exercise is used to promote better rest-activity cycling as well as nutritional supplements, and pharmacological interventions are given according to available research on the best times of day for such treatment. Preliminary research on a cohort of 90 metastatic breast cancer patients (Breast Journal, July 2009) demonstrates favorable outcome. Time will tell if this holistic approach is replicable and produces better outcomes for patients treated at the center.

In a final session, keynote speaker **Russ Reiter** of the University of Texas Health Science Center, considered the father of pineal gland and melatonin research, provided an evolutionary perspective on melatonin and tied together many of the topics of the day. He said that melatonin is 2.5 to 3 billion years old and is found in bacteria, birds, reptiles, and insects in addition to mammals. Melatonin is produced in other tissues besides the pineal gland in mammals, including the female ovary and the retina, but only the pineal gland releases it into the rest of the body to provide central clock regulation. He noted that melatonin has many overlapping actions in addition to clock entrainment, including roles in the immune system and as an antioxidant.

Humans living in industrialized society are melatonin-deficient, he said, because they are exposed to less darkness. Given melatonin's many roles, it is not hard to imagine that the disruption of circadian rhythms may be source of many of the disorders of modern life, including not only cancer but also diabetes and obesity, depression, and other disorders as well.

Open Questions

Can the increased cancer risks of shift workers be reduced using therapies such as melatonin supplementation to promote more robust circadian rhythms?

Could the reduction of light pollution lead to lower cancer rates in industrialized societies?

Will the proteins that constitute the circadian clock represent good targets for intervention in cancer?

What is the role of tumor-specific circadian rhythms in the development and progression of cancer?

Why are circadian gene expression patterns so different between men and women?

Will paying greater attention to the role of circadian rhythms in quality of life parameters for cancer patients lead to better treatment outcomes?

Media



Slides & Audio

Electric Light, Circadian Disruption, and Breast Cancer

Richard Stevens (University of Connecticut Health Center)



Slides & Audio

Epidemiology of Circadian Disruption and Cancer Risk

Eva S. Schernhammer (Harvard Medical School)



Slides & Audio

Molecular Mechanisms of Melatonin's Anticancer Effects

Steven M. Hill (Tulane Cancer Center)



Slides & Audio

Circadian Stage-dependent Metabolic and Anticancer Effects of Melatonin

David E. Blask (Tulane University School of Medicine)



Slides & Audio

Molecular Clock Mechanisms by which Circadian Disruption Causes Colon Cancer

00333 VTA

and Breast Cancer

Patricia A. Wood (University of South Carolina)



Slides & Audio

Circadian Time Dependent Tumor Suppression Function of Period Genes

Xiaoming Yang (University of South Carolina)



Slides & Audio

Abnormalities of Per2 in Lymphoid Malignancies

H. Phillip Koeffler (University of California, Los Angeles)



Slides & Audio

Circadian Disruption in Advanced Lung Cancer

William J.M. Hrushesky (University of South Carolina School of Medicine)



Slides & Audio

Circadian Rhythm in Rest and Activity

Georg A. Bjarnason (Sunnybrook Odette Cancer Center)



Slides & Audio

Cytokine-based Mechanisms by which Cancer Interferes with Circadian Organization

Tyvin A. Rich (University of Virginia)



Slides & Audio

Circadian Phase Setting Effects of Melatonin in Free-living People

Steven W. Lockley (Harvard Medical School)



Slides & Audio

Circadian Disruption in Experimental Cancer Processes and Circadian Strategies for Improving Cancer Control

Elizabeth Filipiski (French Institute of Health and Medical Research)



Slides & Audio

Cancer. Circadian Disruption. Melatonin

Russel J. Reiter (The University of Texas Health Science Center)

Web Sites

HHMI: Biological Clocks

Animations demonstrating the mechanisms of biological clocks in humans, all mammals, and the fruit fly *Drosophila*.

International Agency for Research on Cancer

Organization that coordinates and conducts research on the causes and mechanisms of human cancer and develops scientific strategies for cancer prevention and control.

International Dark Sky Association

Organization whose mission is to preserve and protect the nighttime environment through environmentally responsible outdoor lighting.

Journal of Biological Rhythms

Journal that publishes research into all aspects of biological rhythms, with emphasis on circadian and seasonal rhythms.

Journal of Circadian Rhythms

Journal that publishes research on all aspects of circadian and nycthemeral rhythms in living organisms.

Life Over Cancer

Website devoted to Keith Block's book, *Life Over Cancer: The Block Center Program for Integrative Cancer Treatment*.

00334 VTA

Journal Articles

Additional Background

Stevens RG, Blask DE, Brainard GC, et al. 2007. Meeting report: the role of environmental lighting and circadian disruption in cancer and other diseases. *Environ. Health Perspect.* 115: 1357-1362.

Richard Stevens

Kloog I, Haim A, Stevens RG, et al. 2008. Light at night co-distributes with incident breast but not lung cancer in the female population of Israel. *Chronobiol. Int.* 25: 65-81.

Stevens RG. 2009. Electric light causes cancer? Surely you're joking, Mr. Stevens. *Mutat Res.* Jan 16. [Epub ahead of print]

Stevens RG. 2009. Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. *Int. J. Epidemiol.* Apr 23. [Epub ahead of print]

Straif K, Baan R, Grosse Y, et al. 2007. Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncol.* 8: 1065-1066.

Eva S. Schernhammer

Schernhammer ES, Hankinson SE. 2009. Urinary melatonin levels and postmenopausal breast cancer risk in the Nurses' Health Study cohort. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 18: 74-79.

Viswanathan AN, Schernhammer ES. 2009. Circulating melatonin and the risk of breast and endometrial cancer in women. *Cancer Lett.* 281: 1-7.

Viswanathan AN, Hankinson SE, Schernhammer ES. 2007. Night shift work and the risk of endometrial cancer. *Cancer Res.* 67: 10618-10622. **Full Text**

George C. Brainard

Brainard GC, Sliney D, Hanifin JP, et al. 2008. Sensitivity of the human circadian system to short-wavelength (420-nm) light. *J. Biol. Rhythms* 23: 379-386.

Hanifin JP, Brainard GC. 2007. Photoreception for circadian, neuroendocrine, and neurobehavioral regulation. *J. Physiol. Anthropol.* 26: 87-94. (PDF, 90.4 KB) **Full Text**

Jasser SA, Hanifin JP, Rollag MD, Brainard GC. 2006. Dim light adaptation attenuates acute melatonin suppression in humans. *J. Biol. Rhythms* 21: 394-404.

Zaidi FH, Hull JT, Peirson SN, et al. 2007. Short-wavelength light sensitivity of circadian, pupillary, and visual awareness in humans lacking an outer retina. *Curr. Biol.* 17: 2122-2128.

Steven M. Hill

Lai L, Yuan L, Cheng Q, et al. 2008. Alteration of the MT1 melatonin receptor gene and its expression in primary human breast tumors and breast cancer cell lines. *Breast Cancer Res Treat.* Nov 4.

Lai L, Yuan L, Chen Q, et al. 2008. The Galphai and Galphaq proteins mediate the effects of melatonin on steroid/thyroid hormone receptor transcriptional activity and breast cancer cell proliferation. *J. Pineal Res.* 45: 476-488.

Xiang S, Coffelt SB, Mao L, et al. 2008. Period-2: a tumor suppressor gene in breast cancer. *J. Circadian Rhythms* 6: 4. **Full Text**

David E. Blask

Blask DE. 2009. Melatonin, sleep disturbance and cancer risk. *Sleep Med. Rev.* 13: 257-264.

Dauchy RT, Blask DE, Dauchy EM, et al. 2009. Antineoplastic effects of melatonin on a rare malignancy of mesenchymal origin: melatonin receptor-mediated inhibition of signal transduction, linoleic acid metabolism and growth in tissue-isolated human leiomyosarcoma xenografts. *J. Pineal Res.* May 22.

Dauchy RT, Dauchy EM, Davidson LK, et al. 2007. Inhibition of fatty acid transport and proliferative activity in tissue-isolated human squamous cell cancer xenografts perfused in situ with melatonin or eicosapentaenoic or conjugated linoleic acids. *Comp. Med.* 57: 377-382.

Patricia A. Wood and Xiaoming Yang

Wood PA, Yang X, Taber A, et al. 2008. Period 2 mutation accelerates ApcMin/+ tumorigenesis. *Mol. Cancer Res.* 6: 1786-1793.

Yang X, Wood PA, Ansell CM, et al. 2009. Beta-catenin induces beta-TrCP-mediated PER2 degradation altering circadian clock gene expression in intestinal mucosa of ApcMin/+ mice. *J. Biochem.* 145: 289-297.

Yang X, Wood PA, Oh EY, et al. 2008. Down regulation of circadian clock gene Period 2 accelerates breast cancer growth by altering its daily growth rhythm. *Breast Cancer Res. Treat.* Jul 24. [Epub ahead of print]

William J.M. Hrushesky

Du-Quiton J, Wood PA, Burch JB, et al. 2009. Actigraphic assessment of daily sleep-activity pattern abnormalities reflects self-assessed depression and anxiety in outpatients with advanced non-small cell lung cancer. *Psychooncology* Feb 6. [Epub ahead of print]

Levin RD, Daehler MA, Grutsch JF, et al. 2005. Circadian function in patients with advanced non-small-cell lung cancer. *Br. J. Cancer* 93: 1202-1208. (PDF, 116 KB) **Full Text**

Oh EY, Wood PA, Du-Quiton J, Hrushesky WJ. 2008. Seasonal modulation of post-resection breast cancer metastasis. *Breast Cancer Res. Treat.* 111: 219-228.

H. Phillip Koeffler

Gery S, Koeffler HP. 2007. The role of circadian regulation in cancer. *Cold Spring Harb. Symp Quant. Biol.* 72: 459-464.

Gery S, Virk RK, Chumakov K, et al. 2007. The clock gene Per2 links the circadian system to the estrogen receptor. *Oncogene* 26: 7916-7920.

00335 VTA

Gery S, Gombart AF, Yi WS, et al. 2005. Transcription profiling of C/EBP targets identifies Per2 as a gene implicated in myeloid leukemia. *Blood* 106: 2827-2836. Full Text

Georg Bjarnason

Georg A. Bjarnason GA, Mackenzie RG, Nabid A, et al; National Cancer Institute of Canada Clinical Trials Group (HN3). 2009. Comparison of toxicity associated with early morning versus late afternoon radiotherapy in patients with head-and-neck cancer: a prospective randomized trial of the National Cancer Institute of Canada Clinical Trials Group (HN3). *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 73: 166-172.

Innominato PF, Focan C, Gorlia T, et al; Chronotherapy Group of the European Organization for Research and Treatment of Cancer. 2009. Circadian rhythm in rest and activity: a biological correlate of quality of life and a predictor of survival in patients with metastatic colorectal cancer. *Cancer Res.* 69: 4700-4707.

Tyvin A. Rich

Iurisci I, Rich T, Lévi F, et al. 2007. Relief of symptoms after gefitinib is associated with improvement of rest/activity rhythm in advanced lung cancer. *J. Clin. Oncol.* 25: e17-19.

Rich TA. 2007. Symptom clusters in cancer patients and their relation to EGFR ligand modulation of the circadian axis. *J. Support Oncol.* 5: 167-174; discussion 176-177.

Rich T, Innominato PF, Boerner J, et al. 2005. Elevated serum cytokines correlated with altered behavior, serum cortisol rhythm, and dampened 24-hour rest-activity patterns in patients with metastatic colorectal cancer. *Clin. Cancer Res.* 11: 1757-1764. Full Text

Steven W. Lockley

Flynn-Evans EE, Stevens RG, Tabandeh H, et al. 2009. Total visual blindness is protective against breast cancer. *Cancer Causes Control.* [Epub ahead of print]

Lockley SW, Dijk DJ, Kosti O, et al. 2008. Alertness, mood and performance rhythm disturbances associated with circadian sleep disorders in the blind. *J. Sleep Res.* 17: 207-216.

Lockley SW, Arendt J, Skene DJ. 2007. Visual impairment and circadian rhythm disorders. *Dialogues Clin. Neurosci.* 9: 301-314.

Zaidi FH, Hull JT, Peirson SN, et al. 2007. Short-wavelength light sensitivity of circadian, pupillary, and visual awareness in humans lacking an outer retina. *Curr. Biol.* Dec 17: 2122-2128.

Elizabeth Filipski

Filipski E, Innominato PF, Wu M, et al. 2005. Effects of light and food schedules on liver and tumor molecular clocks in mice. *J. Natl. Cancer Inst.* 97: 507-517.

Iurisci I, Filipski E, Reinhardt J, et al. 2006. Improved tumor control through circadian clock induction by Seliciclib, a cyclin-dependent kinase inhibitor. *Cancer Res.* 66: 10720-10728.

Lévi F, Filipski E, Iurisci I, et al. 2007. Cross-talks between circadian timing system and cell division cycle determine cancer biology and therapeutics. *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.* 72: 465-475.

Keith I. Block

Block KI, Gyllenhaal C, Tripathy D, et al. 2009. Survival impact of integrative cancer care in advanced metastatic breast cancer. *Breast J.* May 12. [Epub ahead of print]

Block KI, Jonas WB. 2006. "Top of the hierarchy" evidence for integrative medicine: what are the best strategies? *Integr. Cancer Ther.* 5: 277-281.

Block KI, Block P, Gyllenhaal C. 2004. The role of optimal healing environments in patients undergoing cancer treatment: clinical research protocol guidelines. *J. Altern. Complement Med.* 10 Suppl 1: S157-S170.

Russel J. Reiter

Erren TC, Reiter RJ. 2008. A generalized theory of carcinogenesis due to chronodisruption. *Neuro. Endocrinol. Lett.* 29: 815-821.

Korkmaz A, Reiter RJ. 2008. Epigenetic regulation: a new research area for melatonin? *J. Pineal Res.* 44: 41-44.

Reiter RJ, Tan DX, Korkmaz A, et al. 2007. Light at night, chronodisruption, melatonin suppression, and cancer risk: a review. *Crit. Rev. Oncog.* 13: 303-328.

Organizers

David E. Blask, MD, PhD

Tulane University School of Medicine
[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

David Blask is professor and head of the Laboratory of Chrono-Neuroendocrine Oncology in the Department of Structural and Cellular Biology at Tulane. For the past 30 years, Blask's research has focused on the circadian control and therapeutics of cancer by melatonin as well as the consequences of the circadian disruption of melatonin production by light at night on cancer risk. He has published over 250 journal articles, reviews, chapters, and abstracts on this topic. His research has been supported by funding agencies such as the National Cancer Institute, National Institute of Child Health and Human Development, National Institute of Environmental Health Sciences, and the Edwin Pauley Foundation. He currently serves on the editorial boards of the *Journal of Pineal Research*, *Neuroendocrinology Letters*, and *Integrative Cancer Therapies* and is a consultant for the photobiology group of the International DarkSky Association. Blask has also served as a member of the working group on shift work for the International Agency for Cancer Research of the World Health Organization.



William J. M. Hrushesky, MD

00336 JTA

University of South Carolina School of Medicine
[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

William Hrushesky is a senior clinician investigator at the WJB Dorn Department of Veterans Affairs Medical Center, a research professor at the University of South Carolina's School of Medicine's Department of Cell and Developmental Biology and Anatomy, and adjunct professor at the Norman J. Arnold School of Public Health's Department of Epidemiology and Biostatistics as well as the School of Computer Engineering's Department of Computer Science and Engineering, Columbia.

Hrushesky is a founder of Medical Chronotherapeutics (optimally timing medical preventatives, diagnostics, and treatments relative to rhythmic human biologic time structure). His research interests include the study of several important biological rhythms and especially of how these rhythms interact; drug delivery systems and particularly their temporal control; and solid tumor oncology. He is a medical expert in the care of patients with breast, lung, kidney, ovary, prostate, colorectal and head and neck cancer. To date, Hrushesky has mentored more than eighty physician scientists and scientists at all career levels. He has given several hundred invited lectures, and published over 700 scientific articles, chapters, or abstracts; holds several patents and is editor of several books and monographs. Current projects include: determining how the circadian clock within cancer cells orders proliferation, apoptosis and the expression of related therapeutic targets; determining the mechanisms by which surgical injury associated with primary tumor resection differentially impacts breast cancer dormancy depending upon the fertility cycle stage of that resection.



Kathy Granger, PhD

The New York Academy of Sciences
[e-mail](#) | [web site](#)

Kathy Granger manages the Life Science conferences at the New York Academy of Sciences. Granger received her PhD from the Department of Medicine, Monash University, Australia. She worked as a postdoctoral associate at Weill Cornell Medical College in New York City before joining the New York Academy of Sciences.

Keynote Speaker



Russel J. Reiter, PhD

The University of Texas Health Science Center
[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

Russel Reiter is professor in the Department of Cellular and Structural Biology at the University of Texas Health Science Center, San Antonio. Reiter's research interests relate to free radical aspects of disease processes and aging. Of particular interest is defining the role of oxygen derivatives in neurodegenerative diseases and their function in apoptosis, necrosis, and neuronal degeneration. Reiter's group is also investigating the free radical scavenging and antioxidant properties of pineal indoleamines, most notably

melatonin. The investigations include the mechanisms of interaction of melatonin with free radicals and the resulting products. His group is also investigating the role of melatonin as a antitoxin against a variety of xenobiotics and environmental pollutants and the functional significance of melatonin and other indoleamines with processes of aging. Reiter is the editor-in-chief of the *Journal of Pineal Research* and on the editorial board of 7 other journals. He is the recipient of numerous awards including three honorary doctor of medicine degrees and, most recently, the Presidential Distinguished Scholar Award from UTHSCSA.

Speakers



Georg A. Bjarnason, MD

Sunnybrook Odette Cancer Center, Toronto

[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

Georg Bjarnason is a senior scientist at the the Sunnybrook Odette Cancer Center in Toronto. His research focuses on the potential clinical applications of chronobiology and chronopharmacology in oncology. Bjarnason has shown that the timing of radiotherapy can impact the severity of oral mucositis in patients with head and neck cancer. Bjarnason is working to define the 24-hour variation of new cancer therapy targets both at the gene level and protein level in human tissue to allow for the design of intelligent clinical trials to optimize the effect and minimize the toxicity of these drugs. He is currently studying the expression of clock genes in cancer tissue, looking for both mutations and an abnormal circadian variation. Bjarnason is also conducting clinical trials using melatonin to normalize the circadian rhythm in patients with breast cancer and colorectal cancer.



Keith I. Block, MD

Block Center for Integrative Cancer Treatment

[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

Keith Block is an internationally recognized integrative cancer treatment specialist, researcher, and educator. A leader in laying the foundation for what is now called "integrative medicine," Block is medical/scientific director of the Block Center for Integrative Cancer Treatment and the Institute for Cancer Research and Education, which he and Penny B. Block, PhD, cofounded in 1980 in Evanston, Illinois. The Block Center uses research-based treatment methodologies that integrate the best of Western medicine with scientifically-sound complementary therapies. The focus is not only on eradication of disease, but on rebuilding biological integrity while honoring each person's psychosocial and spiritual needs.

Block is a member of the National Cancer Institute's Physician Data Query (PDQ) Cancer CAM Editorial Board, the editor-in-chief of the peer-reviewed journal *Integrative Cancer Therapies*, director of integrative medical education at the University of Illinois College of Medicine, adjunct assistant professor of pharmacognosy in the Department of Medicinal Chemistry and Pharmacognosy in the College of Pharmacy at the University of Illinois, and clinical assistant professor in the Department of Medical Education at the

00337 VTA

University of Illinois College of Medicine. In collaboration with the University of Illinois and other university facilities in the U.S. and Israel, Block conducts research in nutrition and in the use of natural medicines in cancer treatment.



George C. Brainard, PhD

Jefferson Medical College at Thomas Jefferson University

[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

George Brainard is a professor in the Departments of Neurology, Pharmacology, and Experimental Therapeutics at Jefferson Medical College of Thomas Jefferson University. He has directed Jefferson's Light Research Program since 1984. This program's research studies the effects of light on neuroendocrine physiology and circadian regulation in humans. Using the techniques of photobiology, radioimmunoassay, and performance testing, his group has documented how various visible and nonvisible light sources influence both hormonal balance and behavior. Current studies include elucidating the action spectrum of melatonin regulation, investigating the phase shifting capacities of light, studying the influence of light on tumor progression, and testing new light treatment devices for winter depression.



Elisabeth Filipski, PhD

French Institute of Health and Medical Research

[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

Elisabeth Filipski is a senior researcher at the French Institute of Health and Medical Research (INSERM), University of Paris, Paris. Her interests include the role of circadian timing system in cancer proliferation and in anticancer treatment activity. Her research aims at understanding the molecular and physiologic mechanisms of interactions between the circadian system, cancer growth, and drug pharmacology pathways in order to establish the experimental bases for personalized cancer chronotherapy. She was first to show that the suprachiasmatic nuclei, the hypothalamic circadian pacemaker, was a control point of tumor progression. She then identified the physiologic and molecular disruption brought about by chronic jet lag in experimental models and showed that such functional circadian disorder was responsible for malignant growth acceleration.



Steve M. Hill, PhD

Tulane Cancer Center

[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

Steve Hill is the Edmond & Lily Safra Chair for Breast Cancer Research Chairman of Structural and Cellular Biology (Anatomy), Tulane Cancer Center, New Orleans. His research focuses on understanding how

hormones and factors cross-talk regulate breast cancer cell growth. Hill's laboratory has demonstrated that melatonin has significant inhibitory effects on the development and growth of human breast cancer. Furthermore, his studies have elucidated that melatonin can potentiate the actions of retinoic acid, a vitamin A derivative, to induce tumor cell death and prevent tumor formation. These studies are currently being moved into human clinical trials. Hill is a reviewer for a variety of journals including *Cancer Research*, *Breast Cancer Research and Treatment*, and *Molecular Endocrinology* and has served on NIH, DOD, and NSF grant review panels.



H. Phillip Koeffler, MD

University of California, Los Angeles
[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

H. Phillip Koeffler is the director of the Division of Hematology/Oncology at Cedars-Sinai Medical Center, Mark Goodson Chair in Oncology Research at Cedars-Sinai, hematologist/oncologist with the Cedars-Sinai Thyroid Cancer Center, and professor of medicine in the Division of Hematology/Oncology at the David Geffen School of Medicine at the University of California, Los Angeles (UCLA). Having developed a program in breast cancer research, Koeffler is looking at the molecular causes of the disease and researching novel forms of therapy.

He researches the basic biology of leukemias, preleukemias, and lymphomas, and is developing novel forms of therapy such as vaccines for these diseases. Koeffler has also developed a program in prostate cancer research and is looking at novel forms of therapy. He and his colleagues are also working to identify novel tumor suppressor genes using extensive tumor DNA banks from over twenty tumor types with matched normal control DNA from the same individual and over 300 microsatellites. Koeffler's group is sub-localizing the site of tumor suppressor genes that are mutated in a variety of cancers. Koeffler is a member of editorial boards for numerous peer-reviewed journals, including *Cancer Research*, the *International Journal of Oncology*, *Journal of Molecular Medicine*, *Cytokines and Molecular Biology*, *Leukemia*, *Cancer Molecular Biology*, *Leukemia Research*, and *Hematologic Pathology*.



Steve Lockley, PhD

Harvard Medical School
[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

Steve Lockley is an assistant professor of Medicine at Harvard Medical School and an associate neuroscientist in the Division of Sleep Medicine, Department of Medicine at Brigham and Women's Hospital, Boston. Lockley's research focuses on basic and applied aspects of human circadian biology, using epidemiology, field-based physiological studies, and inpatient intensive physiological monitoring. He has a particular interest in human circadian photoreception and the effects of light on the circadian pacemaker and other non-image forming responses. Lockley's studies include investigations of the effects of timing, duration, intensity and wavelength of light exposure on circadian resetting, melatonin suppression, and the acute alerting effects of light.

He also studies visually impaired individuals to examine the effects of the severity and type of blindness on circadian photoreception, the periodicity of the circadian pacemaker and development of circadian rhythm sleep disorders. These basic studies have led to the development of novel therapeutic strategies to treat sleep disorders with melatonin administration in blind patients. He examines the role of visual impairment on endocrinology and breast cancer risk in blind women. With the Harvard Work Hours Health and Safety Group, Lockley's group assesses the impact of extended work hours on health and safety of workers and the public, including the development of interventions in hospital residents, and the implementation of large-scale occupational fatigue management and sleep disorders screening programs in several police forces nationwide.



Tyvin Rich, MD

University of Virginia

[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

Tyvin Rich is a professor of radiation oncology at the University of Virginia, Charlottesville. The Rich laboratory studies the molecular mechanisms behind the fatigue that cancer causes. Their laboratory findings support the hypotheses that tumors can produce neurally active peptides (cytokines) that are capable of altering output of the biologic clock. The clinical application of their observations may be to help understand the causes and how to intervene more effectively in patients suffering with symptoms of cancer induced fatigue.



Eva Schernhammer, MD, DrPH

Harvard Medical School

[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

Eva Schernhammer is an assistant professor of medicine at Harvard Medical School and an assistant professor of epidemiology in the Department of Epidemiology at the Harvard School of Public Health. Schernhammer's research interest is in exploring the exposures that influence the circadian system in humans and health consequences. She has done work on the effects of light at night on cancer risk through the melatonin pathway and demonstrated that the effects of light at night may affect not only breast cancer, but also other cancers such as colorectal cancer, generating evidence that supports a new hypothesis on the development of cancer. She has also conducted urinary melatonin measurements in the Nurses' Health Study to assess the hormone's variations according to shift work status and its association with breast cancer risk in the Nurses' Health Study. Current projects study the role of clock genes in these associations and melatonin's cancer preventive potential.



Richard G. Stevens, PhD

University of Connecticut Health Center[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

Richard Stevens is a professor and cancer epidemiologist in the Division of Epidemiology & Biostatistics, Department of Community Medicine and Health Care, University of Connecticut Health Center, Farmington. Stevens's research focuses on the etiology of cancer. One of his major interests has been in the possible role of iron overload. Largely on the basis of his work, published in the *Journal of National Cancer Institute* and the *New England Journal of Medicine*, the Swedish food industry decided to cease iron fortification of flour in the early 1990s. A perplexing challenge, which Stevens began to engage in the late 1970s, is the confounding mystery of why breast cancer risk rises so dramatically as societies industrialize. He proposed in 1987 a radical new theory that use of electric lighting, resulting in lighted nights, might produce "circadian disruption" causing changes in the hormones relevant to breast cancer risk. Accumulating evidence has generally supported the idea, and it has received wide scientific and public attention. For example, his work has been featured on the covers of the popular weekly *Science News* (October 17, 1998) and the scientific journal *Cancer Research* (July 15, 1996).

**Patricia A. Wood, MD, PhD****University of South Carolina**[e-mail](#) | [web site](#) | [publications](#)

Patricia Wood is an associate professor of Internal Medicine and Pathology at the USC School of Medicine and chief of the Oncology/Hematology Division at the Dorn VA Medical Center, Columbia. Dr. Wood's research has included studies of membrane protein and biochemical changes associated with the erythrocyte stage of malaria infection and changes with resistance to anti-malarial drugs; pre-clinical and clinical anti-cancer drug toxicity and efficacy studies; clinical cancer treatment trials through NCI, pharmaceutical and local institutional sponsored programs; and investigations of the effects of biologic rhythms, such as daily (circadian) rhythms and fertility cycle rhythms, on the balance between host and cancer in pre-clinical and clinical settings. She is the recipient of the American Cancer Society Career Development Award, Department of Veterans Affairs RAG and MERIT Review funding and National Institutes of Health research funding.

**Xiaoming Yang, PhD****University of South Carolina**[e-mail](#) | [publications](#)

Xiaoming Yang is a postdoctoral fellow in the Chronobiology and Oncology Research Laboratory at the University of South Carolina, Dorn VA Medical Center, Columbia. The focus of the ongoing research in the laboratory is the effect of biologic rhythms upon host cancer balance, tumor biology, and the efficacy and toxicity of cytotoxic drugs and growth factors used in hematology and oncology. The biologic rhythms of interest include the circadian (~24 hour, daily) and fertility (estrous, menstrual) cycles and seasonal rhythms.

Megan Stephan

00339 VTA

Megan Stephan studied transporters and ion channels at Yale University for nearly two decades before giving up the pipettor for the pen. She specializes in covering research at the interface between biology, chemistry and physics. Her work has appeared in *The Scientist* and *Yale Medicine*. Stephan holds a PhD in biology from Boston University.

Sponsorship

This conference has been made possible through the generous support of

The Mushett Family Foundation

and [Ambulatory Monitoring, Inc.](#)

This eBriefing was sponsored by the [Cancer and Signaling Discussion Group](#)

Media Partners

[Nature](#)

[Lancet](#)

[Society for Research on Biological Rhythms](#)

[American Association of Medical Chronobiology and Chronotherapeutics](#)

[Integrative Cancer Therapies](#)

[European Sleep Research Society](#)

© 2009 The New York Academy of Sciences. All rights reserved.

Limiting Light Pollution Is Ongoing Challenge

Preserving starlit nights in the face of ever-growing light use is a balancing act that proponents of dark skies approach with education, better light fixtures, and legislation.

When an earthquake knocked out the power in Los Angeles in 1994, people were puzzled by the starry sky. Ed Krupp, director of Griffith Observatory, recalls, "People saw something they'd never seen before in an urban environment—or never in their lives. We got two or three dozen calls. They wanted to know, Did the earthquake cause it?"

"The skies are very much a part of our intellectual survival. But people have lost touch with the sky," says Krupp. It's a loss felt across the industrialized world as light pollution has increasingly brightened the night sky. Already, for one-fifth of the world's population—in the US, it's more than two-thirds and in Europe, half—the Milky Way is no longer visible, according to Italy's Pierantonio Cinzano of the Light Pollution Science and Technology Institute in Thiene and the University of Padua. Artificial sky glow comes from light that shines upward—from roadways and com-

mercial, industrial, public, and residential properties.

Streetlights and stars

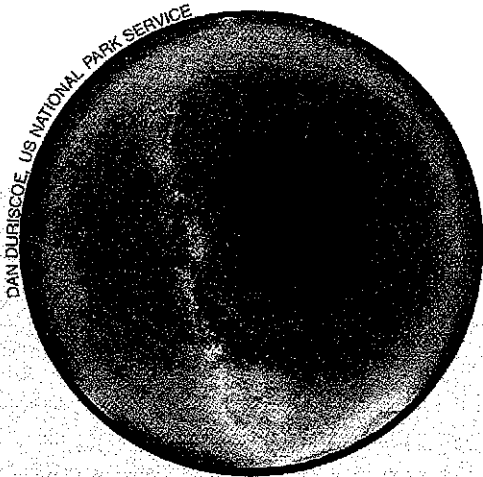
Cinzano models light pollution. From satellite data, he determines the intensity of light sources on Earth and then computes how much light is scattered from particles in the atmosphere, taking into account the distributions of gases, aerosols, temperature, and other factors. For projections, he assumes light use will continue to grow at its present rate. By 2025, for instance, he calculates that fewer than 100 stars will be visible in most of Italy's population centers (red or farther down the scale in the figure below). His projections for the whole of Europe and for the US likewise show increasing light pollution. "The night sky is very endangered," he says.

"Usually people think that light pollution is a problem only for astronomers, but this is not true," says Cinzano. Among the other casualties of light pollution are the general public's diminished view of the night sky, animals from fireflies to frogs to migrating birds, and human health—recent studies show increased rates of cancer when circadian rhythms are disrupted by too much light at night.

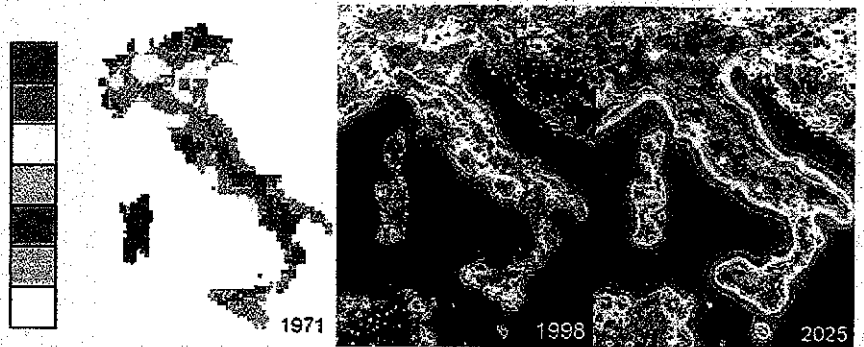
"In 10 years we will have more biologists and medics at our meetings than astronomers," predicts Malcolm Smith, president of the International Astronomical Union's commission for the protection of existing and potential observatory sites. For now, though, he says, "astronomy acts as a canary in the mine for the rest of humanity."

Ground-based telescopes can't beat light pollution. Astronomers can avoid it by observing in the infrared instead of the visible spectrum, or they can partially compensate with a larger telescope, but, as Bob Brucato, former assistant director of Palomar Observatory, puts it, "there is no filtering in principle. Photons are the same whether they come from a star or a streetlight." Adds Chris Luginbuhl, an astronomer at the US Naval Observatory Flagstaff Station, "As light pollution has originated and accelerated for the last 50 or 70 years, astronomers have gone to more and more remote areas—to remote mountaintops and remote countries. There are no further places to run."

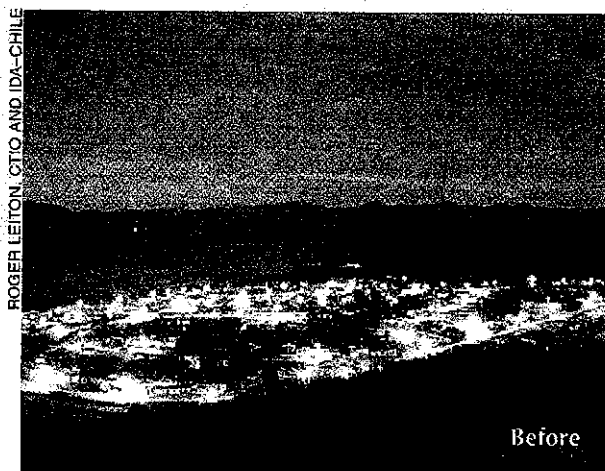
Given that dark skies are the bread and butter of astronomy, it's perhaps surprising how few astronomers actively fight for them. Astronomers account for only a few percent of the nearly 11 000 members of the International Dark-Sky Association (IDA), a group that seeks to raise awareness about, and find solutions to, light pol-



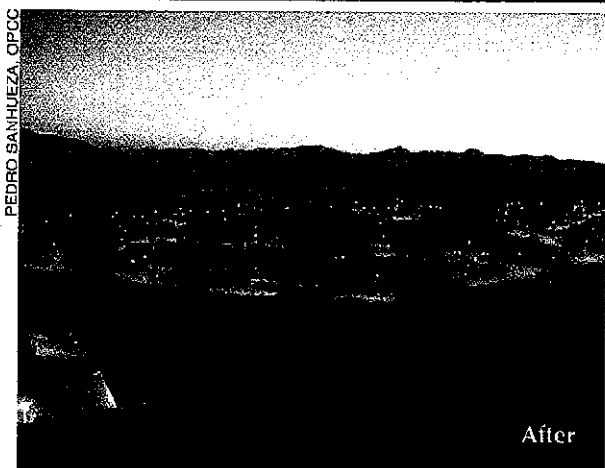
The sky above Wupatki National Monument in Arizona was recorded as part of a US National Park Service initiative to preserve dark skies. The bright spots in the south are the glow from Phoenix (roughly 240 km away) and—brighter because it's closer—Flagstaff (50 km). The diagonal swath is the Milky Way; the wispy features around the edges are from natural airglow. This baseline image is a montage of more than 100 digital exposures.



Calculations based on satellite data show past light pollution in Italy and its projected growth if laws protecting dark skies go unenforced. The colors show the contributions of artificial light to the brightness of the night sky, from roughly 10–35% (blue) to 9–27 times (red) to 80 times (white) the natural brightness. (Courtesy of P. Cinzano, F. Falchi, and C. D. Elvidge, ISTIL Report 2001, <http://www.lightpollution.it>. They obtained the 1971 data from F. C. Bertiau, E. de Graeve, and P. J. Treanor, 1973, *Vatican Observatory Publication*, vol. 1, no. 4, page 159.)



Before



After

ROGER LEITON, QTO AND IDA-CHILE

PEDRO SANHUEZA, OPCC

Monte Patria, Chile, about 60 km south of the Gemini South and SOAR telescopes, switched from mercury-vapor to downward-pointing sodium street lights earlier this year.

observatories, laws call for low-pressure sodium lights, whose emissions in the 589 nm doublet astronomers can work around.

IDA is drafting a model lighting ordinance to be tailored by communities for their specific needs. The MLO is supposed to be unveiled later this year. Says Nancy Clanton, a lighting designer and member of the drafting team, "We want to piggyback on the green-building movement, which is exploding."

Slow and nasty

Not surprisingly, it's easiest to rally support for curbing light pollution in areas where

there's a clear environmental threat—such as to sea turtles on the Florida coast—or where astronomy is a boon for the economy. In Chile, "astronomy is a billion-dollar-a-decade industry," says Smith. When he moved to that country in 1993 to head the Cerro Tololo Inter-American Observatory, the light pollution had, he says, "increased substantially" since a previous stay in the early 1970s. "On the horizon, you could see the faint glow of La Serena, 60 kilometers away. That was an early warning." Now, thanks to a 1999 ordinance, by this October all street lights in three northern regions of the country must comply with restrictions on upward-shining light. "If the legislation is effective, it will increase the lifetime of telescopes in Chile by more than 20 years," Smith says.

Fragmented fight

For the most part, the battle against light pollution takes place at the local level. In west Texas, for example, McDonald Observatory has teamed up with the Nature Conservancy to buy nearby land and resell it with restrictions on lighting. Northern Italy has some of the toughest laws for preserving starlit skies. And in April the UK parliament passed a law declaring exterior floodlighting a "statutory nuisance."

"There are hundreds, if not thousands, of light pollution ordinances nationwide," notes IDA cofounder Dave Crawford, an astronomer based in Tucson, Arizona. Typically, they limit upward-shining light, overlighting, and light trespass—the shining of light onto neighboring property. Near some

there's a clear environmental threat—such as to sea turtles on the Florida coast—or where astronomy is a boon for the economy. In Chile, "astronomy is a billion-dollar-a-decade industry," says Smith. When he moved to that country in 1993 to head the Cerro Tololo Inter-American Observatory, the light pollution had, he says, "increased substantially" since a previous stay in the early 1970s. "On the horizon, you could see the faint glow of La Serena, 60 kilometers away. That was an early warning." Now, thanks to a 1999 ordinance, by this October all street lights in three northern regions of the country must comply with restrictions on upward-shining light. "If the legislation is effective, it will increase the lifetime of telescopes in Chile by more than 20 years," Smith says.

The Big Island of Hawaii, home to the 10-m Keck telescopes and—like northern Chile—a candidate to host a future larger telescope, "has a strong ordinance" for controlling light pollution, says Richard Wainscoat, a University of Hawaii astronomer. Still, he says, "we are right on the edge of light pollution affecting us. I'm worried about the future. It's a very slow, nasty increase. Better shielding and better regulation of noncompliant lighting

are needed to cut down on per capita light pollution. That would allow for many years of population growth on the island while still preserving the dark night sky for astronomy."

Ordinances are one thing, enforcing them is another. "It's like keeping Jell-O down; stuff pops up all over," says Crawford. In southern Arizona, for example, where astronomy brings hundreds of millions of dollars into the state annually and the skies are widely considered a natural resource and tourist attraction, the billboard indus-

try has for years fought to win exemptions from local outdoor lighting codes. "The gutting of lighting codes could be devastating," says Buell Jannuzi, deputy director of Kitt Peak National Observatory near Tucson. "It's a never-ending education effort to explain to people why it's important to regulate lighting. Most people understand that light going up into the sky is not making you more safe." And by not sending light up, he adds, "you save energy and money in the long run. The irony is that it's a win-win situation."

Indeed, a few years ago, IDA estimated that the US was spending \$1-2 billion annually on wasted light. In Chile, new shielded fixtures will save the town of Monte Patria about \$1.3 million over a decade, Smith says. By shielding, "you can usually end up with about the same amount of light on the ground for about half the cost," adds Bill Wren, a dark skies consultant. "In another energy crisis or two, the light pollution problem could solve itself."

Toni Feder

I OBJETIVO Y RESULTADOS ESPERADOS

1.1 Objetivo de protección ambiental y resultados esperados

La presente norma tiene por objetivo prevenir la contaminación lumínica de los cielos nocturnos de la II, III y IV regiones, de manera de proteger la calidad astronómica de dichos cielos, mediante la regulación de la emisión lumínica. Se espera conservar la calidad actual de los cielos señalados y evitar su deterioro futuro.

• Propuesta de Modificación:

Se espera conservar la calidad actual de los cielos señalados, **mejorar o remediar las causas de su actual deterioro** y evitar su deterioro futuro.

• Justificación:

La contaminación lumínica es efecto de una situación dinámica y compleja resultante no sólo de una situación que se pretenda conservar, sino a la cual se le puede incorporar ingentes grados de mejora dependiendo del avance tecnológico o de la superación de factores que han incidido en el deterioro del patrimonio astronómico y que pueden y deben mejorarse a partir de esta nueva normativa. Un ejemplo de ello, dice relación con las modificaciones propuestas en el capítulo de la fiscalización, que pretenden ser un mejoría.

VII FISCALIZACION

7.1. Fiscalización:

Para efectos de la fiscalización del cumplimiento de la presente norma, el organismo del Estado competente será la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

Corresponderá a las Municipalidades respectivas, en cumplimiento de lo dispuesto en el inciso segundo del artículo 5 de la Ley 18.695, Orgánica Constitucional de Municipalidades, colaborar en la fiscalización del cumplimiento de esta norma.

• Propuesta de Modificación:

"Para efectos de la fiscalización del cumplimiento de la presente norma, el organismo del Estado competente será **la Superintendencia de Medio Ambiente.**

Las infracciones a la presente norma originarán un procedimiento de fiscalización que será administrado por la Superintendencia de Medio Ambiente y en ausencia de la misma por la oficina de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles de la región en que se verifique la infracción respectiva.

Podrán colaborar en la fiscalización del cumplimiento de la presente norma de emisión, todos aquellos funcionarios de organismos del Estado o Municipalidades que tengan

00343

VTA

labores de control y fiscalización de electricidad y combustibles, salud, sanitaria, policía, orden y seguridad, que teniendo el carácter de ministros de fé observen incumplimiento de la presente norma, pudiendo hacer la respectiva denuncia ante la Superintendencia de Medio Ambiente dentro de los 5 días hábiles siguientes de observada la infracción o todos los fiscalizadores propios o de entidades técnicas acreditadas de fiscalización contemplados en la ley 20.417.

Asimismo cualquier persona podrá denunciar ante la Superintendencia el incumplimiento de la presente norma ambiental, debiendo ésta informar sobre los resultados de su denuncia en un plazo no superior a 60 días hábiles.

En el evento que producto de tales denuncias se iniciare un procedimiento administrativo sancionador, el denunciante tendrá para todos los efectos legales la calidad de interesado en el precitado procedimiento”.

• Justificación:

Se justifica este traspaso de competencias en virtud de la nueva legislación existente que crea la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA).

En efecto, la ley 20.417 de fecha 26 de Enero de 2010, dispone en su artículo 2º, la competencia que tiene la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) de fiscalizar el cumplimiento de normas de emisión entre otras competencias.

La fiscalización de la contaminación lumínica por parte de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) no es ni ha sido robusta ni efectiva en los años de vigencia del actual DS 686/98 en parte por la falta de funcionarios que puedan realizar dicha labor en horarios de fiscalización que exceden el horario habitual de sus funciones.

En la ley 20.417 que crea la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), en su artículo 24 se contempla la existencia tanto de fiscalizadores propios o de entidades técnicas acreditadas de fiscalización. Además se dispone que para el desarrollo de las actividades de fiscalización, la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) deberá establecer, anualmente, programa o subprogramas, entre los cuales se nombra a “Los programas de fiscalización de las Normas de Calidad y Normas de Emisión para cada región, incluida la Metropolitana”.

Habida consideración de la posible ausencia de oficinas de fiscalización dependientes en las regiones de cobertura del DS 686/98, a saber II, III, y IV, se plantea la alternativa que la función de administrar los sumarios que nazcan de las infracciones respectivas sean administrados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

Al respecto la ley 20.417 que crea la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) faculta a la mantención de funciones de fiscalización de los “organismos sectoriales”, en todas aquellas materias e instrumentos que no sean de competencia de la Superintendencia Medio Ambiente (SMA) y dispone que en todo caso dichos “organismos sectoriales” que cumplan funciones de fiscalización ambiental, deberán “adoptar y respetar todos los criterios que la Superintendencia establezca en relación a la forma de ejecutar las actuaciones de fiscalización, pudiendo solicitar a ésta que se pronuncie al respecto”.

Se estima que el otorgamiento de facultades de fiscalización a la nueva Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) a la que se agrega la colaboración de otros funcionarios que tengan el carácter de Ministros de Fé, facilitará la fiscalización eficaz de una infracción que se comete durante la noche y permitirá realizar una acción de capacitación a diferentes instituciones para que sus funcionarios puedan cooperar con una fiscalización compleja.

La ampliación de facultades de fiscalización de otros funcionarios además de los de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), se estima que no requiere de modificaciones legales a los cuerpos legales de sus propios organismos sectoriales, puesto que sólo faculta a los mismos a realizar una denuncia, en un plazo determinado, a través de un formulario que debe elaborar al efecto la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) que da inicio a un procedimiento sancionatorio. Por último y coincidente con lo que dispone el artículo 21 de la ley 20.417, se establece el derecho universal de denuncia de infracción a toda persona, debiendo la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) informar acerca de los resultados de la misma dentro de 60 días hábiles.

Documento elaborado por Iván Couso Salas¹

¹ Iván Couso Salas es consultor ambiental. Cofundó el Programa País de Eficiencia Energética, del Ministerio de Economía, del cual fue su primer Director Ejecutivo en el año 2005. Ha sido asesor de Medio Ambiente de las siguientes instituciones: Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), Asociación Chilena de Municipalidades (ACHM), Servicio de Salud del Ambiente RM (SESMA). Se ha desempeñado como asesor legislativo entre los años 2007 y 2010 en las comisiones permanentes de Minería y Energía de la Cámara de Diputados y el Senado de la República. Egresó de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad de Chile y realizó estudios de especialización en la Facultad de Ciencias y Artes de la State University of New York (SUNY) Albany.

JEFATURA DEL ESTADO

25332 LEY 31/1988 de 31 de octubre, sobre Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias.

JUAN CARLOS I,
REY DE ESPAÑA

A todo los que la presente vieren y entendieren.

Sabed: Que las Cortes Generales han aprobado y Yo vengo en sancionar la siguiente Ley:

De conformidad con lo prevenido en el artículo 7.3 del Acuerdo de Cooperación en materia de astrofísica, suscrito en Santa Cruz de Tenerife el 26 de Mayo de 1979 por los Gobiernos del Reino de España, del Reino de Dinamarca, del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte y del Reino de Suecia, al que se le ha adherido posteriormente la República Federal de Alemania y están en tramites de adhesión varios países más, el gobierno de España debe garantizar la protección de la actividad investigadora que se realiza en el Instituto de Astrofísica de Canarias y, en especial, preservar la calidad astronómica de sus observatorios, procurando atenerse a las recomendaciones de la Unión Astronómica Internacional.

Debido a la excepcional calidad del cielo de Canarias para las observaciones astrofísicas, se esta consolidando una importante organización científica cooperativa europea, con intereses nacionales e internacionales concordantes, cristalizada en la creación del consorcio publico Instituto de Astrofísica de Canarias (Real Decreto 7/1982, convalidado por el Congreso de los Diputados en su sesión del 11 de Mayo), en el que se armonizan las competencias del Estado y del Gobierno Autónomo de Canarias en la materia.

En las reuniones celebradas el 15 de julio de 1983 por el Consejo Rector del Instituto de Astrofísica de Canarias y el 7 de diciembre de 1984 por el Comité Científico Internacional del mismo Instituto se puso de relieve que el paulatino deterioro de la calidad astronómica del cielo de Canarias aconseja no demorar por mas tiempo la promulgación de las normas pertinentes para el cumplimiento de los fines de protección y preservación establecidos en el mencionado Acuerdo Internacional, lo que lleva a cabo a través de la presente Ley en la que se establecen un conjunto de medidas tendentes a garantizar la calidad astronómica de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias.

Artículo 1

El alumbrado de exteriores, la instalación y funcionamiento de emisoras y el establecimiento de industrias, actividades o servicios productores de contaminación atmosférica, así como otros factores que se revelen degradantes de la calidad atmosférica de los observatorios de la isla de La Palma quedarán sujetos a las limitaciones establecidas en la presente Ley.

Artículo 2

La iluminaciones de exteriores, excluidas las precisas para garantizar la navegación aérea, deberán evitar la emisión de luz por encima del horizonte y habrán de realizarse de forman que produzcan la mínima perturbación de las observaciones astronómicas conforme se determine reglamentariamente.

Artículo 3

El Instituto de Astrofísica de Canarias gozará de las protecciones radioeléctricas establecidas en la ley 31/1987, de Ordenación de las Telecomunicaciones, así como en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Reglamentariamente se delimitarán dichas protecciones y las servidumbres y limitaciones precisas para hacerlas efectivas.

Artículo 4

Por encima de los 1.500 metros de altitud no podrán instalarse industrias, actividades o servicios productores de contaminación atmosférica cuando rebasen los limites que reglamentariamente se establezcan.

Artículo 5

El Instituto de Astrofísica de Canarias, con sujeción a las limitaciones establecidas en la presente Ley y en el Reglamento que la desarrolle emitirá informe preceptivo en todos los expediente de solicitud de licencia que se indican a continuación:

- a) Instalaciones de alumbrado exterior.
- b) Emisoras radioeléctricas con potencia emisora superior a 250 vatios.
- c) Establecimiento de industrias, actividades o servicios que hayan de situarse por encima de 1.500 metros de altitud.

Artículo 6

Se faculta al gobierno para que, en relación con las actividades previstas en esta ley con referencia a los observatorios del consorcio publico Instituto de Astrofísica de Canarias, determine las limitaciones concretas a establecer en el alumbrado de exteriores, el flujo de energía radioeléctrica de las emisoras y los niveles máximos permitidos de contaminación permitidos, teniendo en cuenta las recomendaciones de la Unión Astronómica Internacional.

Artículo 7

Será aplicable a los actos que se realicen contra lo preceptuado en esta Ley el régimen de infracciones y sanciones previsto en la normativa que regule, con carácter general, el alumbrado de exteriores, la instalación y funcionamiento de emisoras y el establecimiento de industrias, actividades o servicios productores de contaminación atmosférica.

DISPOSICIONES ADICIONALES

Primera.- La presente Ley, en lo referente nuevas instalaciones capaces de degradar la calidad astronómica, será de aplicación también para proteger los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias en la isla de Tenerife, excepto en lo concerniente a la iluminación de exteriores, siempre que esta no perturbe la calidad astronómica de los observatorios de la isla de La Palma.

Segunda.- Los gastos que ocasione a las Corporaciones Locales de la isla de La Palma la posible adaptación de la iluminación publica de exteriores actualmente existente a la normativa que se determine reglamentariamente, así como el sobrecosto de las nuevas instalaciones de igual naturaleza, como consecuencia de dicha normativa, serán subvencionados por el estado.

Tercera.- Reglamentariamente se determinará el Organismo competente para dictaminar los expedientes de licencia para las instalaciones a que se refiere la presente Ley como acto previo a la concesión de la licencia municipal.

00345 VTA

Cuarta.- Tanto para el desarrollo reglamentario como para la determinación de las limitaciones a que se refiere el artículo 6 de la presente Ley, será oído el Gobierno de la Comunidad Autónoma de Canarias.

Por tanto,

Mando a todos los españoles, particulares y autoridades, que guarden y hagan guardar esta ley.

Palacio de la Zarzuela, Madrid, a 31 de octubre de 1988.

JUAN CARLOS R.

El Presidente del Gobierno.
FELIPE GONZALEZ MARQUEZ

00346

BOE núm. 96, 21 de abril de 1992

**MINISTERIO DE RELACIONES.
CON LAS CORTES Y DE LA
SECRETARIA DEL GOBIERNO.**

8705 REAL DECRETO 243/1992, de 13 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre protección de la calidad astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias.

La atmósfera por encima de las cumbres de las islas de Tenerife y de La Palma reúne condiciones excepcionales para realizar observaciones astronómicas, por lo que en ellas se están concentrando telescopios y otras instalaciones astrofísicas muy importantes al amparo de Acuerdos Internacionales, establecidos por España. Estas condiciones privilegiadas se pueden ver deterioradas como consecuencia del incremento de la luz parásita debida al alumbrado de exteriores, al funcionamiento de emisoras radioeléctricas o a la contaminación atmosférica producida por las industrias y servicios, incluidos las estelas y los gases de escape de los aviones.

La Ley 31/1988, de 31 de octubre, establece un conjunto de medidas tendentes a garantizar la notable calidad de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, siguiendo las recomendaciones de la Unión Astronómica Internacional. Estas medidas determinan ciertas limitaciones en lo referente al alumbrado de exteriores, la instalación y funcionamiento de emisoras de radio y al establecimiento de industrias, actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera.

El presente Reglamento tiene por objeto establecer las condiciones y los límites tolerables de todos los factores que se revelen degradantes de la calidad astronómica del cielo sobre las zonas que rodean los observatorios.

En su virtud, a propuesta de los Ministerios de Educación y Ciencia, Obras Públicas y Transportes e Industria, Comercio y Turismo, oídos la Comisión Insular de la isla de La Palma y el gobierno de Canarias, de acuerdo con el

Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 13 de marzo de 1992,

DISPONGO:

Artículo 1º Se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, cuyo texto se inserta a continuación.

Art. 2º se autoriza a los Ministros de Obras Públicas y Transportes, Educación y Ciencia e Industria, Comercio y Turismo, para que dicten en el ámbito de sus competencias cuantas disposiciones resulten precisas en desarrollo y aplicación del presente Reglamento.

Art. 3º El presente Real Decreto entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el "Boletín Oficial del Estado".

Dado en Madrid, a 13 de marzo de 1.992.

JUAN CARLOS R.

El Ministro de Relaciones
con las Cortes y de la
Secretaría del Gobierno.
VIRGILIO ZAPATERO GÓMEZ.

**REGLAMENTO DE DESARROLLO DE
LA LEY 31/1988, DE 31 DE OCTUBRE,
SOBRE PROTECCION DE LA CALIDAD
ASTRONÓMICA DE LOS
OBSERVATORIOS DEL INSTITUTO DE
ASTROFISICA DE CANARIAS.**

TÍTULO PRIMERO

Disposiciones Generales.

Artículo 1º El alumbrado de exteriores, la instalación y funcionamiento de emisoras y el establecimiento de industrias y actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera, así como otros factores que se revelen degradantes de la calidad astronómica de los observatorios en la isla de La Palma, quedan sujetos a las limitaciones establecidas en la Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre protección de la calidad astronómica de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), en la forma establecida en el presente Reglamento.

Art. 2º el régimen establecido en la Ley y en el presente Reglamento en lo relativo a nuevas instalaciones capaces de degradar la calidad astronómica, será de aplicación también para proteger los Observatorios del IAC en la isla de Tenerife, excepto en lo concerniente a la iluminación de exteriores, siempre que ésta no perturbe la calidad astronómica de los observatorios de la isla de La Palma.

Art. 3º 1. El ámbito territorial de aplicación del régimen de protección comprenderá la totalidad de la isla de La Palma.

2. El ámbito territorial de aplicación del régimen de protección comprenderá la totalidad de la isla de Tenerife, en lo concerniente a instalación y funcionamiento de emisoras y al establecimiento de industrias y actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera, y sólo la parte de la isla de Tenerife que tiene visión directa desde la isla de La Palma, en lo concerniente a iluminación de exteriores.

3. Sin perjuicio de lo dispuesto en el artículo 5 de la Ley 31/1988, dentro de los ámbitos territoriales anteriormente citados deberán quedar salvaguardadas las necesidades de la Defensa Nacional, de acuerdo con la Ley Orgánica 6/1980, por la que se regulan los criterios básicos de la Defensa Nacional y la Organización Militar.

TÍTULO II

CAPÍTULO PRIMERO.

Alumbrado de exteriores.

Art. 4º Se considera alumbrado de exteriores, a los efectos de este Reglamento, todo tipo de alumbrado realizado con instalaciones estables o esporádicas, en recintos abiertos para su utilización nocturna.

De acuerdo con esta definición, serán considerados fundamentalmente como alumbrados exteriores los siguientes:

- Alumbrado vial.
- Alumbrado ornamental y de parques.
- Alumbrado de instalaciones deportivas.
- Alumbrado de instalaciones recreativas.
- Anuncios luminosos.
- Alumbrado de seguridad
- Alumbrado de escaparates zonas comerciales.

Alumbrado exterior de viviendas particulares.

Art. 5º Están excluidas del ámbito de aplicación del régimen de protección, la luz producida por la combustión de gas natural u otros combustibles, la iluminación de aeropuertos que sea necesaria para garantizar la navegación aérea y la iluminación de vehículos automóviles.

Art. 6º Todos los alumbrados de exteriores deberán evitar la emisión de luz por encima del horizonte y habrán de realizarse de forma y con lámparas que produzcan la mínima perturbación de las observaciones astronómicas.

Art. 7º En todo alumbrado exterior la distribución espectral de la luz emitida por las lámparas ha de ser tal que la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda menores de 440 nm sea inferior al 15 por 100 de su radiancia total. Si es superior deberá aplicarse un filtro que cumpla el límite anterior. El filtro deberá ser sometido a inspección con una periodicidad mínima de dos años.

Art. 8º Las luminarias para alumbrado vial deben estar construidas de modo que toda la luz emitida se proyecte por debajo del plano horizontal tangente al punto más bajo de luminaria. Las luminarias deben instalarse sin ninguna inclinación.

Art. 9º En el alumbrado vial las únicas lámparas permitidas serán las de vapor de sodio a baja presión. El uso de las de alta presión podrá autorizarse únicamente en determinadas zonas urbanas y siempre con la correspondiente autorización o licencia, de conformidad con lo establecido en los artículos 27 y 28 de este Reglamento.

Art. 10 No podrá utilizarse en el alumbrado vial las lámparas de vapor de mercurio color corregido y halogenuros metálicos.

Art. 11 Las instalaciones de alumbrado vial dispondrán bien de dispositivos para controlar el flujo luminoso o bien de doble lámpara por luminaria que permitan reducir el flujo luminoso a un tercio del normal a partir de las doce de la noche, sin detrimento de la uniformidad. Esta reducción no será aplicable

cuando la iluminancia normal sea inferior a los niveles establecidos para la seguridad vial.

Art. 12. El alumbrado ornamental de edificios públicos monumentos y jardines podrá realizarse con cualquier tipo de lámparas, siempre que permanezca apagado después de las doce de la noche. Se procurará que la luz vaya siempre dirigida de arriba hacia abajo.

Art. 13. El alumbrado de instalaciones deportivas y de recreo podrá efectuarse con cualquier tipo de lámparas, pero deberá permanecer apagado después de las doce de la noche.

Dicho límite horario podrá prolongarse para actividades singulares, en los términos de la correspondiente autorización.

Art. 14. 1. En los anuncios luminosos podrán utilizarse tubos de descarga de alta tensión a través de hidrógeno, helio, neón, argón, kriptón, xenón o mercurio a muy bajas presiones así como lámparas fluorescentes, incandescentes o sodio de baja presión, siempre que los anuncios queden apagados a partir de las doce de la noche.

2. No podrán utilizarse proyectores o láseres con fines publicitarios recreativos o culturales.

Art. 15. 1 Para evaluar el efecto (I) de un núcleo, con un flujo total de F lúmenes instalados a una distancia en kilómetros d, del observatorio del Roque de los Muchachos, se aplicará la siguiente fórmula empírica.

$$I = \frac{F}{3,5 \times 10^5 \times d^{1,1} \times e^{0,07d}}$$

2. La suma de los efectos I de todos los núcleos urbanos situados en cualquier sector de 45 grados, cuyo vértice sea el observatorio del Roque de los Muchachos, no podrá exceder de la unidad, una vez aplicado el correspondiente factor de simultaneidad.

3 Para cada zona e la isla de La Palma, no se podrán rebasar los límites de flujo total instalado que figura en el anexo a este Reglamento.

CAPÍTULO II

Instalación y funcionamiento de radioemisoras.

Art. 16. A los efectos de aplicación del presente Reglamento se utilizarán las definiciones incluidas en el anexo de la Ley 31/1987, de 18 de diciembre, de Ordenación de las Telecomunicaciones, y, en su defecto, las definiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones, anejo al Convenio Internacional de Telecomunicaciones.

Art. 17. Se considerará expresamente comprendido en el presente título:

a) La instalación y funcionamiento de estaciones de radiocomunicaciones.

b) La limitación de la densidad de flujo de potencia W/m^2 , producido sobre los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias.

Art. 18. Se exceptúan de la aplicación del presente Reglamento, las estaciones de radiocomunicaciones con potencia isotropa radiada equivalente (p.i.r.e) en la dirección de los observatorios inferior o igual a 25 vatios.

Art. 19. De conformidad con el artículo 3, el ámbito territorial del régimen de protección establecido para la instalación y funcionamiento de estaciones de radiocomunicación estará constituido por:

a) La isla de La Palma, por lo que se refiere a instalaciones de radiocomunicaciones existentes o que puedan instalarse en el futuro.

b) La isla de Tenerife por lo que se refiere a las instalaciones que se realicen a partir de la entrada en vigor del presente Reglamento.

c) Los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, por lo que se refiere a la limitación de la densidad de flujo de potencia, que afecte a cualquier tipo de instalación radioeléctrica.

Art. 20. 1. La densidad de flujo de potencia, en cualquier parte de los observatorios calculada a partir de la p.i.r.e en la dirección de los mismos no será superior a $2 \times 10^{-6} W/m^2$, en cada frecuencia, equivalente a una intensidad de campo eléctrico de 88,8 dB ($\mu V/m$).

2. El cálculo teórico de la densidad de flujo de potencia producida por cada estación de radiocomunicaciones se realizará teniendo en cuenta las recomendaciones e informes del

00347

VTA

Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (C.C.I.R.).

3. Se tendrá en cuenta el efecto acumulativo de la interferencia múltiple producida por las estaciones de radiocomunicaciones utilizando el método de la suma cuadrática definido por el C.C.I.R.

4. En el caso de que los cálculos teóricos den como resultado una densidad de flujo de potencia superior al límite fijado en el apartado 1 de este mismo artículo podrán realizarse medidas de intensidad de campo eléctrico en la ubicación de los observatorios con señales de prueba.

5. Si aún así, se determina que una nueva estación de radiocomunicación produce una acumulación de densidad de flujo de potencia que sobrepase el límite establecido en el apartado 1 de este mismo artículo, la Dirección General de Telecomunicaciones denegará la autorización para la instalación de aquella.

6. En todo caso, las estaciones de radiocomunicaciones tomarán las medidas necesarias para limitar sus características de radiación de potencia en dirección a los observatorios al mínimo imprescindible.

CAPÍTULO III

Contaminación atmosférica.

Art. 21. Por encima de los 1.500 metros de altitud no podrán instalarse en las islas de Tenerife y de La Palma, industrias, actividades o servicios potencialmente contaminadores de la atmósfera, cuando rebasen los límites establecidos legalmente en esta materia, o aquellos que con posterioridad reglamentariamente se determinen.

Art. 22. A los efectos del presente Reglamento se considerarán industrias, actividades o servicios potencialmente contaminadores de la atmósfera aquellos que puedan ser causa de emisiones de gases y partículas a la atmósfera, excluyéndose de estos conceptos:

a) La circulación de vehículos automóviles cuya cilindrada sea inferior o igual a 2.000 cc.

b) Las instalaciones situadas a más de 15 kilómetros en línea recta de los observatorios de la isla de la Palma y a 25 kilómetros en línea recta de aquellos de la isla de Tenerife. Estas distancias deberán ser medidas en un plano horizontal.

CAPÍTULO IV

Rutas Aéreas.

Art. 23. A los efectos de aplicación del presente Reglamento se consideran interferencias de rutas aéreas, la formación de nubes producidas por la condensación de los gases de escape de aviones y salidas de gases de combustión que puedan perturbar la transparencia del cielo.

Art. 24. 1. Se consideran exceptuadas de la aplicación del presente Reglamento las perturbaciones ocasionales producidas por vuelos realizados para prevención y extinción de incendios, traslados de heridos y como consecuencia de situaciones catastróficas o por razones sanitarias de urgencia o necesidad.

2. Las instalaciones radioeléctricas de Aviación Civil que pudieran afectar a la calidad astronómica de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, deberán ser objeto de acuerdo previo con el Instituto de Astrofísica de Canarias.

Art. 25. Las rutas aéreas deben ser mantenidas fuera de los 10 grados sobre el horizonte visto desde el observatorio y a 5 Kilómetros de distancia horizontal del lugar.

(El volumen efectivamente protegido está publicado en el AIP España de referencia ENR 5.6-6 del 17 de Mayo del 1998 con la identificación F11-IZAÑA y F12-ROQUE DE LOS MUCHACHOS)

TÍTULO III

CAPÍTULO PRIMERO.

Administración de régimen de protección.

Art. 26. La ejecución del presente Reglamento se realizará por la Administración que por razón de la materia resulte competente en cada caso.

Art. 27. 1. La Administración competente solicitará de la Dirección del IAC el informe preceptivo a que se refiere el artículo 5º de la Ley 31/1.988 de 31 de octubre.

Dicho informe se emitirá en el plazo de treinta días transcurridos los cuales se entenderá emitido el mismo con carácter favorable.

2. Si la solicitud no fuese acompañada de los documentos necesarios para emitir el informe se requerirá al solicitante para que los aporte, entendiéndose interrumpido el plazo de emisión hasta la aportación de los mismos.

3. No será preciso el informe del IAC, en los procedimientos de autorización de instalaciones de iluminación exterior con potencia inferior a 20.000 lúmenes.

Art. 28. 1. Los informes del IAC son en todo caso previos y preceptivos a la puesta en funcionamiento y realización de cualquiera de las actividades incluidas en el ámbito de aplicación del presente Reglamento.

2. En los supuestos contemplados en el artículo 13 de este Reglamento, los condicionantes del informe habrán de incorporarse a la licencia o autorización.

Art. 29. 1. Los proyectos de instalación de emisoras de radio, de industrias o actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera sometidas al ámbito del régimen de protección, deberán incluir un estudio técnico de su incidencia en la función investigadora de los observatorios del IAC, con expresión en su caso de las medidas correctoras que se propongan para eliminar cualquier efecto degradante de la calidad astronómica de los mismos.

2. El IAC deberá autorizar los trabajos que sean precisos en sus observatorios para la realización de los estudios a que hace referencia el apartado anterior.

Art. 30. 1. Los interesados podrán formular a la Dirección del IAC consultas debidamente documentadas sobre la incidencia de sus proyectos de instalaciones o actividades en las limitaciones derivadas del régimen de protección.

2. La contestación tendrá carácter de mera información y no sustituirá la emisión en su momento del informe preceptivo.

3. El informe se acomodará al contenido de la consulta siempre que se mantengan invariables las condiciones de todo tipo en las que se evacuó aquella.

CAPITULO II

Régimen sancionador.

Art. 31. Será aplicable a los actos que se realicen contra lo preceptuado en la Ley 31/1.988, y en el presente Real Decreto el

Régimen de infracciones y sanciones previsto en la normativa que regula, con carácter general, el alumbrado de exteriores, y la instalación y funcionamiento de emisoras y el establecimiento de industrias, actividades o servicios productores de contaminación atmosférica.

Art. 32. La competencia para aplicar el régimen de sanciones previsto en la Ley 31/1987, de 18 de diciembre, de Ordenación de las Telecomunicaciones, corresponderá al Ministerio de Obras Públicas y Transportes, sin perjuicio de las potestades sancionadoras que correspondan a la Comunidad Autónoma de Canarias, en relación con las emisoras de radiodifusión sonora en ondas métricas con modulación de frecuencia de gestión indirecta.

Art. 33. La competencia para aplicar el régimen sancionador establecido en la Ley 38/1972 de 22 de diciembre de protección del ambiente atmosférico corresponde a la Comunidad Autónoma de Canarias en el ámbito de la expresada Ley y del presente Reglamento.

Art. 34. En los procedimientos sancionadores que se sustancien como consecuencia de infracciones relacionadas con el régimen de protección deberá incorporarse con anterioridad a la propuesta de resolución un informe técnico de la Dirección del IAC, en el que se expongan y valoren los efectos negativos de la instalación o actividad objeto del expediente sobre la función investigadora.

CAPÍTULO III

Régimen económico.

Art. 35. Los gastos que ocasionen a las corporaciones locales de la isla de La Palma, la posible adaptación de la iluminación pública de exteriores actualmente existente a esta normativa, así como el sobrecosto de las nuevas instalaciones de igual naturaleza como consecuencia de dicha normativa, será subvencionados por el Estado.

Art. 36. Las solicitudes para adaptar la iluminación existentes se presentarán en la Dirección del IAC, acompañado el proyecto técnico de la instalación y el presupuesto de la misma. El IAC emitirá informe sobre la necesidad de la adaptación, que remitirá junto con la solicitud y demás documentos a la

Secretaría de Estado de Universidades e Investigación (Ministerio de Educación y Ciencia). La Secretaría de Estado de Universidades e Investigación a la vista de lo anterior, dictará resolución aprobando o rechazando la solicitud y fijando la cuantía de la subvención.

Art. 37. Las solicitudes de subvención para sufragar el sobrecosto de las nuevas instalaciones se tramitarán y resolverán conforme al procedimiento establecido en el artículo 36. A la documentación señalada en dicho artículo deberá acompañarse la valoración razonada del sobrecosto de la instalación.

Art. 38. Las solicitudes de adaptación de la iluminación existente se consideran prioritarias respecto de las nuevas instalaciones de la misma naturaleza, en los créditos presupuestarios anuales.

ANEXO

Z₁ (Garafia):

Límites: Línea de costa. Cota 1.000 metros.
Límite municipal Puntagorda.
Límite municipal de Barlovento.
Distancia promedio 9 kilómetros.
Límite luminancia $7,5 \times 10^6$ L.

Z₂ (Barlovento, San Andrés y Sauces, Puntallana):

Límites: Línea de costa. Cota 1.000 metros.
Límite municipal de Garafia.
Límite municipal de Santa Cruz de La Palma.
Distancia promedio 11,8 kilómetros.
Límite luminancia 12×10^6 L.

Z₃ (Santa Cruz de La Palma):

Límites: Línea de costa. Cota 1.000 metros.
Límite municipal de Santa Cruz de La palma.
Distancia promedio 14,5 kilómetros.
Límite luminancia $18,4 \times 10^6$ L.

Z₄ (Breña Baja/Alta, Mazo, Fuencaliente):

Límites: Línea de costa. Cota 1.000 metros.
Límite municipal de Santa Cruz de La Palma.
Límite municipal de los Llanos de Aridane y El paso.

Distancia promedio 19,3 kilómetros.
Límite luminancia 35×10^6 L.

Z₅ (Tazacorte, Los Llanos de Aridane, El Paso):

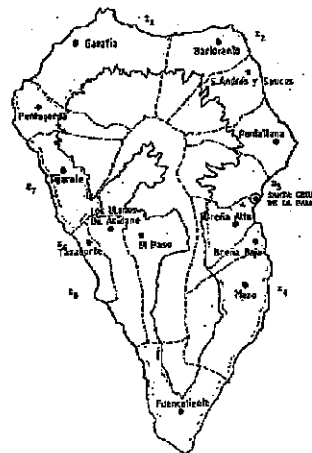
Límites: Línea de costa. Cota 1.000 metros.
Límite artificial que separa los asentamientos más importantes de población.
Distancia promedio 17,5 kilómetros.
Límite luminancia $5,8 \times 10^6$ L.

Z₆ (Tazacorte, Los Llanos de Aridane, El Paso):

Límites: Línea de costa. Cota 1.000 metros.
Límite zona Z₅.
Límite municipal de Tijarafe.
Distancia promedio 11,5 kilómetros.
Límite luminancia $9,0 \times 10^6$ L.

Z₇ (Tijarafe, Puntagorda):

Límites: Línea de costa. Cota 1.000 metros.
Límite municipal de los Llanos de Aridane y Tazacorte
Límite municipal de Garafia..
Distancia promedio 9 kilómetros.
Límite luminancia $7,5 \times 10^6$ L.



cado cuando los asuntos a tratar afecten a su centro respectivo.

Secretario: Actuará como Secretario de la Mesa de Contratación, con voz pero sin voto, el Secretario de la Junta de Contratación.

A las reuniones de la Mesa de Contratación podrán incorporarse con voz y sin voto, cuantos asesores especializados se consideren necesarios, cuando así lo requiera la naturaleza de los asuntos a tratar.

2. En caso de vacante, ausencia o enfermedad, y en general, cuando concurra alguna causa justificada, se establece el siguiente régimen de suplencias de los miembros de la Mesa de Contratación:

El Presidente será sustituido por el Vicepresidente Primero y Segundo, sucesivamente.

Los Vocales serán sustituidos por sus suplentes, que tendrán el mismo rango y serán nombrados por el mismo procedimiento que los titulares.

El Secretario podrá ser sustituido por otro funcionario, del mismo nivel o superior, que será nombrado por el mismo procedimiento que el titular.

Artículo 6. *Atribuciones y funcionamiento de la Mesa de Contratación.*

1. La Mesa de Contratación asistirá a los órganos de contratación, para la adjudicación de aquellos contratos no atribuidos a la Junta de Contratación en el artículo 3 de esta Orden, de acuerdo con lo previsto en el artículo 295.1 de la Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público, y 79 del Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.

2. La Mesa de Contratación se reunirá, previa convocatoria de su Presidente, o en su caso, Vicepresidente Primero o Segundo, en atención a los expedientes de contratación que hayan de tramitarse y que, de acuerdo con esta Orden, exijan su intervención.

Disposición adicional única. *Supresión de órganos.*

A los efectos de la presente Orden, si como consecuencia de posteriores modificaciones en la estructura orgánica del Departamento se suprimiese alguno de sus órganos, el nuevo órgano que asuma las competencias ejercerá, en su caso, las funciones que le corresponden en la Junta de Contratación, debiendo ser nombrado conforme a lo establecido en el artículo segundo de esta Orden.

Disposición transitoria única. *Expedientes iniciados con anterioridad a la constitución de la Junta de Contratación.*

De los expedientes de contratación iniciados con anterioridad a la entrada en vigor de esta Orden, conocerán los órganos de contratación competentes en el momento de iniciación del expediente.

Disposición derogatoria.

Queda derogada la Orden de 10 de febrero de 1997, por la que se regula y determina la composición de la Mesa de Contratación del Ministerio de Asuntos Exteriores.

Disposición final. *Entrada en vigor.*

La presente Orden entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Madrid, 11 de noviembre de 2008.—El Ministro de Asuntos Exteriores y de Cooperación, Miguel Ángel Moratinos Cuyaubé.

18633 *DENUNCIA del Convenio entre España y Dinamarca para evitar la doble imposición en materia de impuestos sobre la renta y sobre el patrimonio, firmado en Copenhague el 3 de julio de 1972, y Protocolo modificativo de 17 de marzo de 1999.*

Por Nota de fecha 10 de junio de 2008 la Embajada de Dinamarca comunica la denuncia del Convenio entre España y Dinamarca para evitar la doble imposición en materia de impuestos sobre la renta y sobre el patrimonio, firmado en Copenhague el 3 de julio de 1972 (BOE 28-01-1974), y Protocolo modificativo de 17 de marzo de 1999 (BOE 17-05-2000), que dejarán de estar en vigor el 1 de enero de 2009.

Lo que se hace público para conocimiento general. Madrid, 10 de noviembre de 2008.—El Secretario General Técnico del Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, Antonio Cosano Pérez.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO

18634 *REAL DECRETO 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.*

La eficiencia y el ahorro energéticos constituyen objetivos prioritarios para cualquier economía, y pueden conseguirse sin afectar al dinamismo de su actividad, ya que mejoran la competitividad de sus procesos productivos y reducen tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como la factura energética.

La elaboración de la estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4) constituyó un nuevo eslabón que se unía a una larga cadena de actuaciones normativas, dirigidas todas ellas a la mejora del sistema energético español. La oportunidad de la Estrategia estaba justificada, tanto en términos energéticos como por consideraciones de índole socioeconómica y medioambiental.

Además, la ejecución de la estrategia promueve una reducción significativa de emisiones de contaminantes atmosféricos, en concordancia con las directivas europeas y orientaciones internacionales.

Como desarrollo de la Estrategia, el 1 de agosto de 2008 el Consejo de Ministros aprobó el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2011, que contempla entre una de sus principales medidas la mejora de la eficiencia de las instalaciones de alumbrado exterior.

El artículo 2 de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria, señala como uno de sus fines el de «contribuir a compatibilizar la actividad industrial con la protección del medio ambiente».

Asimismo, el artículo 9.1 de dicha Ley indica que el objeto de la seguridad industrial es «la prevención y limitación de riesgos, así como la protección contra accidentes y siniestros capaces de producir daños o perjuicios a las personas, flora, fauna, bienes o al medio ambiente, derivados de la actividad industrial o de la utilización, funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones o equipos y de la producción, uso o consumo, almacenamiento o desecho de los productos industriales».

El Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto (REBT), tiene por objeto «establecer las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro en los límites de baja tensión, con la finalidad de preservar la seguridad de las personas y los bienes, asegurar el normal funcionamiento de dichas instalaciones y prevenir las perturbaciones en otras instalaciones y servicios y contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones».

La Instrucción técnica complementaria ITC-BT 09 del citado reglamento se refiere a instalaciones de alumbrado exterior, con prescripciones específicas para la seguridad de las mismas.

El uso irracional de la energía y la contaminación lumínica suponen un impacto negativo sobre el medio ambiente, por lo que, ante la escasez de recursos naturales, se hace imperativo evitarlos, en la medida de lo posible.

Aunque existen algunos antecedentes normativos parciales sobre el aspecto considerado, éstos son limitados, o bien por su objetivo (por ejemplo, la Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre protección de la calidad astronómica de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias) o bien por restringirse al ámbito de la Comunidad Autónoma o Ayuntamiento que los promulgó.

En consecuencia, se ha considerado conveniente y necesario abordar el problema de la eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado exterior eléctrico, de manera general para todo el territorio español, en el marco legal anteriormente descrito, plasmándolo en un reglamento específico que, a la vez, complementa a lo estipulado en el REBT.

Por todo lo anterior, mediante este real decreto se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, que contiene prescripciones generales, y siete instrucciones técnicas complementarias (denominadas «ITC-EA»), relativas a los aspectos técnicos y de desarrollo de las previsiones establecidas en el reglamento.

El reglamento que ahora se aprueba permite que se puedan conceder excepciones a sus prescripciones, en casos justificados debidamente, a fin de evitar situaciones de inaplicabilidad.

Dado que la ejecución de las instalaciones a las que se refiere este reglamento no sufre cambio alguno y únicamente es preciso adicionar algunos elementos en la documentación, los instaladores que las realicen serán los indicados en el REBT.

Igualmente, la ejecución y puesta en servicio de las instalaciones se realizará de la forma dispuesta en el REBT, con los complementos correspondientes para el diseño y la revisión inicial.

En la documentación que se entregue al titular de las instalaciones se incluirán las características fundamentales de eficiencia energética, lista de receptores y lámparas, e instrucciones de uso y mantenimiento.

Por lo que se refiere a las inspecciones, también se realizarán conjuntamente con las prescritas para las instalaciones de BT.

Finalmente, se encarga al órgano directivo competente en materia de seguridad industrial del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio la elaboración de una Guía, como ayuda a los distintos agentes afectados para la mejor comprensión de las prescripciones reglamentarias.

Se ha consultado a las Comunidades Autónomas, Entidades Locales y sectores más representativos potencialmente afectados, recogiendo de los mismos, en las distintas fases de la tramitación, sus aportaciones y mejoras.

El texto ha sido asimismo sometido a informe del Consejo de Coordinación de la Seguridad Industrial, de

acuerdo con lo estipulado en el Real Decreto 251/1997, de 21 de febrero, por el que se aprueba su reglamento.

Este real decreto ha sido comunicado en su fase de proyecto a la Comisión Europea y a los demás Estados miembros en cumplimiento de lo prescrito por el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, por el que se regula la remisión de información en materia de normas y reglamentaciones técnicas y reglamentos relativos a los servicios de la sociedad de la información, de aplicación de la Directiva del Consejo 98/34/CE.

Este real decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1.13.ª de la Constitución, y constituye una norma de desarrollo de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria y, en concreto, de su artículo 12.5, que atribuye al Gobierno la aprobación de los reglamentos de seguridad industrial, categoría en la que debe entenderse comprendido el reglamento de cuya aprobación se trata.

A este respecto cabe señalar que la regulación que se aprueba tiene carácter de normativa básica y recoge previsiones de carácter exclusiva y marcadamente técnico, por lo que la ley no resulta un instrumento idóneo para su establecimiento y se encuentra justificada su aprobación mediante real decreto.

En su virtud, a propuesta del Ministro de Industria, Turismo y Comercio, de acuerdo con el Consejo de Estado, previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 14 de noviembre de 2008,

DISPONGO:

Artículo único. *Aprobación del Reglamento y sus instrucciones técnicas complementarias.*

Se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-EA-01 a ITC-EA-07, cuyo texto se inserta a continuación.

Disposición adicional única. *Guía técnica.*

La Subdirección General de Calidad y Seguridad Industrial del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio elaborará y mantendrá actualizada una Guía técnica, de carácter no vinculante, para la aplicación práctica de las previsiones del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-EA-01 a ITC-EA-07, la cual podrá establecer aclaraciones a conceptos de carácter general incluidos en dicho reglamento e instrucciones técnicas complementarias.

Disposición transitoria única. *Instalaciones pendientes de ejecución.*

Se exime del cumplimiento del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-EA-01 a ITC-EA-07 a las instalaciones cuya ejecución se hubiera comenzado antes de la fecha de entrada en vigor del mismo, siempre que esta circunstancia se justifique de manera fehaciente ante el correspondiente órgano competente de la Comunidad Autónoma, y se finalicen dentro del año siguiente a dicha fecha.

Disposición derogatoria única. *Derogación normativa.*

Quedan derogadas todas las disposiciones de igual o inferior rango, en todo aquello que contradigan o se opongan a lo dispuesto en el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-EA-01 a ITC-EA-07 aprobados por este real decreto.

777 14E09
00350**Disposición final primera. Título competencial.**

Este real decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1.13.^a y 25.^a de la Constitución, que atribuyen al Estado la competencia exclusiva sobre bases y coordinación de la planificación general de la actividad económica y sobre bases del régimen minero y energético, respectivamente.

Disposición final segunda. Facultades de aplicación y actualización técnica.

1. Se autoriza al Ministro de Industria, Turismo y Comercio para dictar, en el ámbito de sus competencias, las disposiciones de carácter exclusivamente técnico que resulten indispensables para asegurar la adecuada aplicación de este real decreto.

2. Asimismo se faculta al Ministro de Industria, Turismo y Comercio introducir en el Reglamento de efi-

ciencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y, en particular, en sus instrucciones técnicas complementarias, cuantas modificaciones de carácter técnico fuesen precisas para mantenerlas adaptadas al progreso de la técnica y especialmente a lo dispuesto en la normativa comunitaria e internacional.

Disposición final tercera. Entrada en vigor.

El presente real decreto entrará en vigor el 1 de abril de 2009.

Dado en Madrid, el 14 de noviembre de 2008.

JUAN CARLOS R.

El Ministro de Industria, Turismo y Comercio,
MIGUEL SEBASTIÁN GASCÓN

REGLAMENTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR

Artículo 1. Objeto.

1. El presente reglamento tiene por objeto establecer las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior, con la finalidad de:

- a) Mejorar la eficiencia y ahorro energético, así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- b) Limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir la luz intrusa o molesta.

2. No es objeto del presente reglamento establecer valores mínimos para los niveles de iluminación en los distintos tipos de vías o espacios a iluminar, que se regirán por la normativa que les sea de aplicación.

Artículo 2. Ámbito de aplicación.

1. Este reglamento se aplicará a las instalaciones, de más de 1 kW de potencia instalada, incluidas en las instrucciones técnicas complementarias ITC-BT del Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, siguientes:

- a) Las de alumbrado exterior, a las que se refiere la ITC-BT 09;
- b) Las de fuentes, objeto de la ITC-BT 31;
- c) Las de alumbrados festivos y navideños, contempladas en la ITC-BT 34.

2. A los efectos de este reglamento, se consideran los siguientes tipos de alumbrado:

- a) Vial (Funcional y ambiental);
- b) Específico.
- c) Ornamental;
- d) Vigilancia y seguridad nocturna
- e) Señales y anuncios luminosos
- f) Festivo y navideño

3. Este reglamento se aplicará:

- a) A las nuevas instalaciones, a sus modificaciones y ampliaciones.
- b) A las instalaciones existentes antes de su entrada en vigor, cuando, mediante un estudio de eficiencia energética, la Administración Pública competente lo considere necesario.
- c) A las instalaciones existentes antes de su entrada en vigor, que sean objeto de modificaciones de importancia y a sus ampliaciones, entendiéndose por modificación de importancia aquella que afecte a más del 50% de la potencia o luminarias instaladas.

4. Se excluyen de la aplicación de este reglamento las instalaciones y equipos de uso exclusivo en minas, usos militares, regulación de tráfico, balizas, faros, señales marítimas, aeropuertos y otras instalaciones y equipos que estuvieran sujetos a reglamentación específica.

Artículo 3. Definiciones.

A los efectos de este reglamento se entenderá lo siguiente:

1. **Deslumbramiento perturbador:** Deslumbramiento que perturba la visión de los objetos sin causar necesariamente una sensación desagradable. La medición de la pérdida de visibilidad producida por el deslumbramiento perturbador, ocasionado por las luminarias de la instalación de alumbrado público, se efectúa mediante el incremento de umbral de contraste. Su símbolo TI, carece de unidades y su expresión, en función de la luminancia de velo L_v y la luminancia media de la calzada L_m (entre 0,05 y 5 cd/m^2), es la siguiente:

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0,8}} \text{ (en \%)}$$

Donde:

TI = Incremento de umbral correspondiente al deslumbramiento perturbador

L_v = Luminancia de velo total en cd/m^2 .

L_m = Luminancia media de la calzada en cd/m^2 .

En el caso de niveles de luminancia media en la calzada superiores a 5 cd/m^2 , el incremento de umbral de contraste viene dado por:

$$TI = 95 \frac{L_v}{(L_m)^{1,05}} \text{ (en \%)}$$

2. **Eficacia luminosa de una lámpara:** es la relación entre el flujo luminoso emitido por la lámpara y la potencia consumida por ésta. Se expresa en lm/W (lúmenes/vatio).
3. **Flujo luminoso:** Potencia emitida por una fuente luminosa en forma de radiación visible y evaluada según su capacidad de producir sensación luminosa, teniendo en cuenta la variación de la sensibilidad del ojo con la longitud de onda. Su símbolo es Φ y su unidad es el lumen (lm).
4. **Flujo Hemisférico Superior Instalado de la Luminaria (FHS_{inst}):** También denominado $ULOR_{inst}$, se define como la proporción en % del flujo de una luminaria que se emite sobre el plano horizontal que pasa por el centro óptico de la luminaria respecto al flujo total saliente de la luminaria, cuando la misma está montada en su posición de instalación.
5. **Iluminancia horizontal en un punto de una superficie:** Cociente entre el flujo luminoso incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto y el área de ese elemento. Su símbolo es E y la unidad el lux (lm/m^2).

La expresión de la iluminancia horizontal en un punto P, en función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, definida por las coordenadas (C, γ) en la dirección del mismo, y de la altura h de montaje de la luminaria, es la siguiente:

$$E = \frac{I(C, \gamma) \cos^3 \gamma}{h^2}$$

6. **Iluminancia media horizontal:** Valor medio de la iluminancia horizontal en la superficie considerada. Su símbolo es E_m y se expresa en lux.
7. **Iluminancia mínima horizontal:** Valor mínimo de la iluminancia horizontal en la superficie considerada. Su símbolo es E_{min} y se expresa en lux.
8. **Iluminancia vertical en un punto de una superficie:** La iluminancia vertical en un punto P en función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto y la altura h de montaje de la luminaria es la siguiente:

$$E_v = \frac{I(C, \gamma) \operatorname{sen} \gamma \cos^2 \gamma}{h^2}$$

9. **Índice de deslumbramiento GR** : Es el índice que caracteriza el nivel de deslumbramiento (Glare Rating), mediante la formulación empírica reflejada en la norma CIE 112:94 según la siguiente expresión:

$$GR = 27 + 24 \log \frac{L_v}{L_{ve}^{0,9}}$$

Siendo:

L_v = luminancia de velo debida a las (n) luminarias.

L_{ve} = luminancia de velo denominada equivalente, producida por el entorno.

10. **Intensidad luminosa**: Es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido. Esta magnitud tiene característica direccional, su símbolo representativo es I y su unidad es la candelilla, cd = lm/sr (lumen/estereorradián).
11. **Luminancia de Velo**: Es la luminancia uniforme equivalente resultante de la luz que incide sobre el ojo de un observador y que produce el velado de la imagen en la retina, disminuyendo de este modo la facultad que posee el ojo para apreciar los contrastes. Su símbolo es (L_v) y se expresa en cd/m².

La luminancia de velo se debe a la incidencia de la luz emitida por una luminaria sobre el ojo de un observador en el plano perpendicular a la línea de visión, dependiendo así mismo del ángulo comprendido entre el centro de la fuente deslumbrante y la línea de visión, así como del estado fisiológico del ojo del observador.

La luminancia de velo L_v responde a la siguiente expresión:

$$L_v = K \frac{E_g}{\theta^2}$$

Siendo:

K = Constante que depende fundamentalmente de la edad del observador y, aunque es variable, se adopta como valor medio 10 si los ángulos se expresan en grados, y 3×10^{-3} si se expresan en radianes.

E_g = iluminancia en lux sobre la pupila, en un plano perpendicular a la dirección visual y tangente al ojo del observador.

θ = Ángulo entre el centro de la fuente deslumbrante y la línea de visión, es decir, ángulo formado por la dirección visual del observador.

Para el conjunto total de una instalación de alumbrado público habrá que tener en cuenta todas las luminancias de velo para cada luminaria, considerando además que la primera luminaria a tener en cuenta es la que forma 20° en ángulo de alzada con la horizontal, es decir:

$$L_v = K \sum_{i=1}^{i=n} \frac{E_g}{\theta^2}$$

Siendo i = la primera luminaria cuyo ángulo de alzada con la horizontal es 20°, siendo válida la expresión para $1,5^\circ < \theta < 30^\circ$

12. **Luminancia de velo equivalente L_{ve} producida por el entorno**: Se define considerando que la reflexión del entorno es totalmente difusa, se expresa en cd/m², y se calcula como

$$L_{ve} = \frac{0,035 r E_{hm}}{\pi}$$

Siendo:

r = Coeficiente de reflexión medio del área

E_{hm} = Iluminancia horizontal media del área

- 13. Luminancia en un punto de una superficie:** Es la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por la misma superficie en la dirección del ojo del observador. Su símbolo es L y su unidad la candela entre metro cuadrado (cd/m^2).

La expresión de la luminancia en un punto P , en función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, de la altura h de montaje de la luminaria y de las características de reflexión del pavimento $r(\beta, \text{tg } \gamma)$, es la siguiente:

$$L = \frac{I(c, \gamma) r(\beta, \text{tg } \gamma)}{h^2}$$

- 14. Luminancia media de una superficie:** Valor medio de la luminancia de la superficie considerada. Su símbolo es L_m y se expresa en cd/m^2 .
- 15. Luz intrusa o molesta:** Luz procedente de las instalaciones de alumbrado exterior que da lugar a incomodidad, distracción o reducción en la capacidad para detectar una información esencial y, por tanto, produce efectos potencialmente adversos en los residentes, ciudadanos que circulan y usuarios de sistemas de transportes.
- 16. Relación Entorno:** Relación entre la iluminancia media de la zona situada en el exterior de la calzada y la iluminancia media de la zona adyacente situada sobre la calzada, en ambos lados de los bordes de la misma. La relación entorno SR es la más pequeña de las dos relaciones entorno calculadas. La anchura de las dos zonas de cálculo para cada relación de entorno se tomará como 5 m o la mitad de la anchura de la calzada, si ésta es inferior a 10 m.
- 17. Rendimiento de una Luminaria:** Es la relación entre el flujo luminoso total procedente de la luminaria y el flujo luminoso emitido por la lámpara o lámparas instaladas en la luminaria. Su símbolo es η y carece de unidades.
- 18. Resplandor Luminoso Nocturno:** Luminosidad o brillo nocturno producido, entre otras causas, por la luz procedente de las instalaciones de alumbrado exterior, bien por emisión directa hacia el cielo o reflejada por las superficies iluminadas.
- 19. Uniformidad global de luminancias:** Relación entre la luminancia mínima y la media de la superficie de la calzada. Su símbolo es U_o y carece de unidades.
- 20. Uniformidad longitudinal de luminancias:** Relación entre la luminancia mínima y la máxima en el mismo eje longitudinal de los carriles de circulación de la calzada, adoptando el valor menor de todos ellos. Su símbolo es U_l y carece de unidades.
- 21. Uniformidad media de iluminancias:** Relación entre la iluminancia mínima y la media de la superficie de la calzada. Su símbolo es U_m y carece de unidades.
- 22. Uniformidad General de Iluminancias:** Relación entre la iluminancia mínima y la máxima de la superficie de la calzada. Su símbolo es U_g y carece de unidades.

Artículo 4. Eficiencia energética.

Con el fin de lograr una eficiencia energética adecuada en las instalaciones de alumbrado exterior, éstas deberán cumplir, al menos, con los requisitos siguientes:

- 1º- Los niveles de iluminación de la instalación no superen lo establecido en la instrucción técnica complementaria ITC-EA 02, salvo casos excepcionales, que requerirán autorización previa del órgano competente de la Administración Pública.
- 2º- Para el alumbrado vial, se cumplan los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en la ITC-EA-01. Para el resto de instalaciones de alumbrado, se cumplan los requisitos de factor de utilización, pérdidas de los equipos, factor de mantenimiento y otros establecidos en las instrucciones técnicas complementarias correspondientes.
- 3º - En donde se requiera, dispongan de un sistema de accionamiento y de regulación del nivel luminoso, tal y como se define en la ITC-EA-04.

Artículo 5. Calificación energética de las instalaciones

Las instalaciones de alumbrado exterior se calificarán energéticamente en función de su índice de eficiencia energética, mediante una etiqueta de calificación energética según se especifica en la ITC-EA-01. Dicha etiqueta se adjuntará en la documentación del proyecto y deberá figurar en las instrucciones que se entreguen a los titulares, según lo especificado en el artículo 10 del reglamento.

Artículo 6. Resplandor luminoso nocturno, luz intrusa o molesta.

Con la finalidad de limitar el resplandor luminoso nocturno y reducir la luz intrusa o molesta, las instalaciones de alumbrado exterior se ajustarán, particularmente, a los requisitos establecidos en la ITC-EA-03.

Artículo 7. Niveles de iluminación.

Se cumplirán los niveles máximos de luminancia o iluminancia, y de uniformidad mínima permitida, en función de los diferentes tipos del alumbrado exterior, según lo dispuesto en la ITC-EA-02.

Artículo 8. Régimen de funcionamiento.

1. Los sistemas de accionamiento garantizarán que las instalaciones de alumbrado exterior se enciendan y apaguen con precisión, cuando la luminosidad ambiente lo requiera.
2. Para obtener ahorro energético en casos tales como instalaciones de alumbrado ornamental, anuncios luminosos, espacios deportivos y áreas de trabajo exteriores, se establecerán los correspondientes ciclos de funcionamiento (encendido y apagado) de dichas instalaciones, para lo que se dispondrá de relojes astronómicos o sistemas equivalentes, capaces de ser programados por ciclos diarios, semanales, mensuales o anuales.
3. Las instalaciones de alumbrado exterior con excepción de túneles y pasos inferiores, estarán en funcionamiento como máximo durante el periodo comprendido entre la puesta de sol y su salida o cuando la luminosidad ambiente lo requiera.
4. Cuando se especifique, los alumbrados exteriores tendrán dos niveles de iluminación de forma que en aquellos casos del periodo nocturno en los que disminuya la actividad o características de utilización, se pase del régimen de nivel normal de iluminación a otro con nivel de iluminación reducido, manteniendo la uniformidad.
5. Se podrá variar el régimen de funcionamiento de los alumbrados ornamentales, estableciéndose condiciones especiales, en épocas tales como festividades y temporada alta de afluencia turística.
6. Se podrá ajustar un régimen especial de alumbrado para los acontecimientos nocturnos singulares, festivos, feriales, deportivos o culturales, que compatibilicen el ahorro energético con las necesidades derivadas de los acontecimientos mencionados.
7. Corresponde a las Administraciones Locales regular el tiempo de funcionamiento de las instalaciones de alumbrado exterior que se encuentren en su ámbito territorial y que no sean de competencia estatal o autonómica.

Artículo 9. Documentación de las instalaciones

Con la finalidad de justificar el cumplimiento de las exigencias establecidas en este reglamento, toda instalación de alumbrado exterior deberá incluir la documentación, en forma de proyecto o memoria técnica de diseño, según se establece en la ITC-EA-05.

Artículo 10. Ejecución y puesta en servicio de las instalaciones.

Las instalaciones de alumbrado exterior están sometidas al procedimiento general de ejecución y puesta en servicio que determina el artículo 18 del Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto.

La documentación de las instalaciones y el manual de instrucciones para el usuario, así como la revisión y, cuando proceda, la inspección inicial, deberán complementarse con lo dispuesto en el presente reglamento, en particular siguiendo lo indicado en la ITC EA-05.

Artículo 11. Información a los titulares de la instalación.

Como anexo al certificado de instalación que se entregue al titular de la instalación, la empresa instaladora deberá confeccionar unas instrucciones para el correcto uso, así como para el mantenimiento de la misma de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 12 y con lo especificado en la ITC-EA-05.

Asimismo, la empresa instaladora deberá aportar la etiqueta energética de la instalación según lo especificado en la ITC-EA-01. Dicha etiqueta se adjuntará en la documentación del proyecto, junto con la relación de receptores y lámparas.

Cualquier modificación o ampliación requerirá la elaboración de un complemento a lo anterior, en la medida que sea necesario.

Artículo 12. Mantenimiento de la eficiencia energética de las instalaciones.

1. Los titulares de las instalaciones deberán mantener en buen estado de funcionamiento sus instalaciones, utilizándolas de acuerdo con sus características y absteniéndose de intervenir en las mismas para modificarlas.

2. La gestión del mantenimiento de las instalaciones exigirá el establecimiento de un registro de las operaciones llevadas a cabo, que se ajustará a lo dispuesto en la ITC-EA-06.

3. Todas las instalaciones deberán disponer de un plan de mantenimiento que comprenderá fundamentalmente las reposiciones masivas de lámparas, las operaciones de limpieza de luminarias y los trabajos de inspección y mediciones eléctricas. La programación de los trabajos y su periodicidad, se ajustarán al factor de mantenimiento adoptado, según lo establecido en la ITC-EA-06.

4. Al objeto de disminuir los consumos de energía eléctrica en los alumbrados exteriores, el titular de la instalación llevará a cabo, como mínimo una vez al año, un análisis de los consumos anuales y de su evolución, para observar las desviaciones y corregir las causas que las han motivado durante el mantenimiento periódico de la instalación.

5. En las instalaciones de alumbrado exterior será necesario disponer de un registro fiable de su componentes incluyendo las lámparas, luminarias, equipos auxiliares, dispositivos de regulación del nivel luminoso, sistemas de accionamiento y gestión centralizada, cuadros de alumbrado, etc.

Artículo 13. Inspecciones y verificaciones.

Sin perjuicio de la facultad que, de acuerdo con lo señalado en el artículo 14 de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria, posee la Administración Pública competente para llevar a cabo, por sí misma, las actuaciones de inspección y control que estime necesarias, según lo previsto en el artículo 12.3 de dicha Ley, el cumplimiento de las disposiciones y requisitos de eficiencia energética establecidos en el presente Reglamento deberá ser comprobado en todos los casos mediante una verificación inicial previa a la puesta en servicio de la instalación, realizada por un instalador autorizado en baja tensión y, además, según la potencia instalada, mediante inspección inicial y verificaciones o inspecciones periódicas, llevadas a cabo de acuerdo con lo indicado en la ITC-EA 05.

Artículo 14. Excepciones.

Cuando, por motivos de seguridad o interés público, y con carácter de excepcionalidad, no se puedan cumplir determinadas prescripciones de este reglamento, el titular de la instalación deberá presentar, ante el órgano competente de la Administración Pública, previamente al procedimiento contemplado en el artículo 10, una solicitud de excepción, exponiendo los motivos de la misma e indicando las medidas de eficiencia alternativa que se propongan.

El citado órgano competente podrá **denegar** la solicitud, requerir la modificación de las medidas alternativas o **conceder** la excepción, **siempre de manera expresa**.

Artículo 15. Normas de referencia.

1. Las instrucciones técnicas complementarias podrán establecer la aplicación de normas UNE u otras reconocidas internacionalmente, de manera total o parcial, a fin de facilitar la adaptación al estado de la técnica en cada momento.

2. Cuando una o varias normas varíen su año de edición con respecto a las vigentes en el momento de la aprobación de este reglamento, o se editen modificaciones posteriores a las mismas, deberán ser objeto de actualización, mediante resolución del centro directivo competente en materia de seguridad industrial del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, en la que deberá hacerse constar la fecha a partir de la cual la utilización de la nueva edición de la norma será válida y la fecha a partir de la cual la utilización de la antigua edición de la norma dejará de serlo, a efectos reglamentarios.

A falta de resolución expresa, se entenderá que también cumple las condiciones reglamentarias la edición de la norma posterior a la que figure en la ITC, siempre que la misma no modifique criterios básicos.

Artículo 16. Infracciones y sanciones.

Las infracciones a lo dispuesto en el presente reglamento se sancionarán de acuerdo con lo dispuesto en el Título V de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	EFICIENCIA ENERGÉTICA	ITC - EA - 01
--	-----------------------	---------------

**Instrucción Técnica Complementaria EA - 01
Eficiencia Energética**

INDICE

- 1. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA INSTALACIÓN**
- 2. REQUISITOS MÍNIMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA**
 - 2.1 Instalaciones de alumbrado vial funcional**
 - 2.2 Instalaciones de alumbrado vial ambiental**
 - 2.3 Otras instalaciones de alumbrado**
 - 2.4 Instalaciones de alumbrado festivo y navideño**
- 3. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO**

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

EFICIENCIA ENERGÉTICA

ITC - EA - 01

1. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA INSTALACIÓN

1.1 La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada.

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right)$$

siendo:

- ε = eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior ($\text{m}^2 \cdot \text{lux/W}$)
 P = potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares) (W);
 S = superficie iluminada (m^2);
 E_m = iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux);

1.2 La eficiencia energética se puede determinar mediante la utilización de los siguientes factores:

- ε_L = eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares ($\text{lum/W} = \text{m}^2 \text{ lux/W}$);
 f_m = factor de mantenimiento de la instalación (en valores por unidad)
 f_u = factor de utilización de la instalación (en valores por unidad)

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right)$$

donde:

Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares (ε_L): Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara más su equipo auxiliar.

Factor de mantenimiento (f_m): Es la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales.

Factor de utilización (f_u): Es la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias.

El factor de utilización de la instalación es función del tipo de lámpara, de la distribución de la intensidad luminosa y rendimiento de las luminarias, así como de la geometría de la instalación, tanto en lo referente a las características dimensionales de la superficie a iluminar (longitud y anchura), como a la disposición de las luminarias en la instalación de alumbrado exterior (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz).

1.3 Para mejorar la eficiencia energética de una instalación de alumbrado se podrá actuar incrementando el valor de cualquiera de los tres factores anteriores, de forma que la instalación más eficiente será aquella en la que el producto de los tres factores - eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares y factores de mantenimiento y utilización de la instalación- sea máximo.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

EFICIENCIA ENERGÉTICA

ITC - EA - 01

2. REQUISITOS MÍNIMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

2.1 Instalaciones de alumbrado vial funcional.

Se definen como tales las instalaciones de alumbrado vial de autopistas, autovías, carreteras y vías urbanas, consideradas en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 como situaciones de proyecto A y B.

Las instalaciones de alumbrado vial funcional, con independencia del tipo de lámpara, pavimento y de las características o geometría de la instalación, deberán cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética que se fijan en la tabla 1.

Tabla 1 – Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial funcional

Iluminancia media en servicio $E_m(\text{lux})$	EFICIENCIA ENERGÉTICA MÍNIMA $\left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}}\right)$
≥ 30	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
$\leq 7,5$	9,5

Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal

Para las instalaciones de alumbrado en zonas especiales de viales, se aplicarán los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en el apartado 2.3.

2.2 Instalaciones de alumbrado vial ambiental

Alumbrado vial ambiental es el que se ejecuta generalmente sobre soportes de baja altura (3-5 m) en áreas urbanas para la iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras, parques y jardines, centros históricos, vías de velocidad limitada, etc., considerados en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 como situaciones de proyecto C, D y E.

Las instalaciones de alumbrado vial ambiental, con independencia del tipo de lámpara y de las características o geometría de la instalación -dimensiones de la superficie a iluminar (longitud y anchura), así como disposición de las luminarias (tipo de implantación, altura y separación entre puntos de luz)-, deberán cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética que se fijan en la tabla 2.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

EFICIENCIA ENERGÉTICA

ITC - EA - 01

Tabla 2 – Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial ambiental.

Iluminancia media en servicio $E_m(\text{lux})$	EFICIENCIA ENERGÉTICA MÍNIMA $\left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}}\right)$
≥ 20	9
15	7,5
10	6
7,5	5
≤ 5	3,5

Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal

2.3 Otras instalaciones de alumbrado

En el alumbrado específico, el alumbrado ornamental, el alumbrado para vigilancia y seguridad nocturna, y el de señales y anuncios luminosos, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Se iluminará únicamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado.
- Se instalarán lámparas de elevada eficacia luminosa compatibles con los requisitos cromáticos de la instalación y con valores no inferiores a los establecidos en el capítulo 1 de la ITC-EA-04.
- Se utilizarán luminarias y proyectores de rendimiento luminoso elevado según la ITC-EA-04
- El equipo auxiliar será de pérdidas mínimas, dándose cumplimiento a los valores de potencia máxima del conjunto lámpara y equipo auxiliar, fijados en la ITC-EA-04.
- El factor de utilización de la instalación será el más elevado posible, según la ITC-EA-04.
- El factor de mantenimiento de la instalación será el mayor alcanzable, según la ITC-EA-06.

2.4 Instalaciones de alumbrado festivo y navideño

La potencia asignada de las lámparas incandescentes utilizadas será igual o inferior a 15 W, y la potencia máxima instalada por unidad de superficie (W/m^2) será la indicada en la ITC-EA-02.

3. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

Las instalaciones de alumbrado exterior, excepto las de alumbrados de señales y anuncios luminosos y festivo y navideño, se calificarán en función de su índice de eficiencia energética.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

EFICIENCIA ENERGÉTICA

ITC - EA - 01

El índice de eficiencia energética (I_{ϵ}) se define como el cociente entre la eficiencia energética de la instalación (ϵ) y el valor de eficiencia energética de referencia (ϵ_R) en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada, que se indica en tabla 3.

$$I_{\epsilon} = \frac{\epsilon}{\epsilon_R}$$

Tabla 3 - Valores de eficiencia energética de referencia

Alumbrado vial funcional		Alumbrado vial ambiental y otras instalaciones de alumbrado	
Iluminancia media en servicio proyectada E_m (lux)	Eficiencia energética de referencia ϵ_R $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$	Iluminancia media en servicio proyectada E_m (lux)	Eficiencia energética de referencia ϵ_R $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$
≥ 30	32	--	--
25	29	--	--
20	26	≥ 20	13
15	23	15	11
10	18	10	9
$\leq 7,5$	14	7,5	7
--	--	≤ 5	5

Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal

Con objeto de facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado y en consonancia con lo establecido en otras reglamentaciones, se define una etiqueta que caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de siete letras que va desde la letra A (instalación más eficiente y con menos consumo de energía) a la letra G (instalación menos eficiente y con más consumo de energía). El índice utilizado para la escala de letras será el índice de consumo energético (ICE) que es igual al inverso del índice de eficiencia energética:

$$ICE = \frac{1}{I_{\epsilon}}$$

La tabla 4 determina los valores definidos por las respectivas letras de consumo energético, en función de los índices de eficiencia energética declarados.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

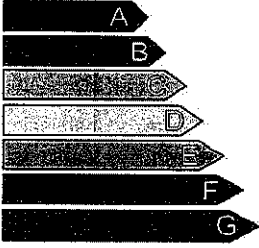
EFICIENCIA ENERGÉTICA

ITC - EA - 01

Tabla 4 - Calificación energética de una instalación de alumbrado.

Calificación Energética	Índice de consumo energético	Índice de Eficiencia Energética
A	$ICE < 0,91$	$IE > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq IE > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq IE > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq IE > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq IE > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5,00$	$0,38 \geq IE > 0,20$
G	$ICE \geq 5,00$	$IE \leq 0,20$

Entre la información que se debe entregar a los usuarios figurará la eficiencia energética (ϵ), su calificación mediante el índice de eficiencia energética ($I\epsilon$), medido, y la etiqueta que mide el consumo energético de la instalación, de acuerdo al modelo que se indica a continuación:

Calificación Energética de las Instalaciones de Alumbrado	
<p>Más eficiente</p>  <p>Menos eficiente</p>	
<p>Instalación:</p> <p>Localidad / calle:</p> <p>Horario de funcionamiento:</p> <p>Consumo de energía anual (kWh/año):</p> <p>Emissiones de CO₂ anual (kgCO₂/año):</p> <p>Índice de eficiencia energética ($I\epsilon$):</p> <p>Iluminancia media en servicio E_m (lux):</p> <p>Uniformidad (%):</p>	

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	EFICIENCIA ENERGÉTICA	ITC - EA - 01
--	-----------------------	---------------

Colores que deberán usarse en la etiqueta:

CMYK: cian, magenta, amarillo, negro.

- o Ejemplo: 07X0: 0 % cian, 70 % magenta, 100 % amarillo, 0 % negro.
- o Flechas:
A: X0X0; B: 70X0; C: 30X0; D: 00X0; E: 03X0; F: 07X0; G: 0XX0
- o Color del contenido: X070
- o Todo el texto en negro. El fondo es blanco.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 02

Instrucción Técnica Complementaria EA - 02 NIVELES DE ILUMINACIÓN

INDICE

1. GENERALIDADES
2. ALUMBRADO VIAL
 - 2.1 Clasificación de las vías y selección de las clases de alumbrado
 - 2.2 Niveles de iluminación de los viales
 - 2.3 Niveles de iluminación de zonas especiales de viales
3. ALUMBRADOS ESPECÍFICOS
 - 3.1 Alumbrado de Pasarelas Peatonales, Escaleras y Rampas
 - 3.2 Alumbrado de Pasos Subterráneos Peatonales
 - 3.3 Alumbrado Adicional de Pasos de Peatones
 - 3.4 Alumbrado de Parques y Jardines
 - 3.5 Alumbrado de Pasos a Nivel de Ferrocarril
 - 3.6 Alumbrado de Fondos de Saco
 - 3.7 Alumbrado de Glorietas
 - 3.8 Alumbrado de Túneles y Pasos Inferiores
 - 3.9 Aparcamientos de vehículos al aire libre
 - 3.10 Alumbrado de Áreas de Trabajo Exteriores
4. ALUMBRADO ORNAMENTAL
5. ALUMBRADO PARA VIGILANCIA Y SEGURIDAD NOCTURNA
6. ALUMBRADO DE SEÑALES Y ANUNCIOS LUMINOSOS
7. ALUMBRADO FESTIVO Y NAVIDEÑO
8. DESLUMBRAMIENTOS
 - 8.1 Instalaciones de Alumbrado vial funcional
 - 8.2 Instalaciones de Alumbrado vial ambiental
 - 8.3 Otras Instalaciones de Alumbrado
9. NIVELES DE ILUMINACIÓN REDUCIDOS
10. CLASES DE ALUMBRADO DE SIMILAR NIVEL DE ILUMINACION

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC – EA – 02

1. GENERALIDADES

Se entiende por nivel de iluminación el conjunto de requisitos luminotécnicos o fotométricos (luminancia, iluminancia, uniformidad, deslumbramiento, relación de entorno, etc) cubiertos por la presente instrucción. En alumbrado vial, se conoce también como clase de alumbrado.

Los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media de las instalaciones de alumbrado descritas a continuación no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia establecidos en la presente ITC. Estos niveles medios de referencia están basados en las normas de la serie UNE-EN 13201 "Iluminación de carreteras", y no tendrán la consideración de valores mínimos obligatorios, pues quedan fuera de los objetivos de este Reglamento.

Deberá garantizarse asimismo el valor de la uniformidad mínima, mientras que el resto de requisitos fotométricos, por ejemplo, valor mínimo de iluminancia en un punto, deslumbramiento e iluminación de alrededores, descritos para cada clase de alumbrado, son valores de referencia, pero no exigidos, que deberán considerarse para los distintos tipos de instalaciones.

Los requisitos fotométricos anteriores no serán aplicables a aquellas instalaciones o parte de las mismas en las que se justifique debidamente la excepcionalidad y sea aprobada por el órgano competente de la Administración Pública.

2. ALUMBRADO VIAL

El nivel de iluminación requerido por una vía depende de múltiples factores como son el tipo de vía, la complejidad de su trazado, la intensidad y sistema de control del tráfico y la separación entre carriles destinados a distintos tipos de usuarios.

En función de estos criterios, las vías de circulación se clasifican en varios grupos o situaciones de proyecto, asignándose a cada uno de ellos unos requisitos fotométricos específicos que tienen en cuenta las necesidades visuales de los usuarios así como aspectos medio ambientales de las vías

2.1 Clasificación de las vías y selección de las clases de alumbrado

2.1.1 El criterio principal de clasificación de las vías es la velocidad de circulación, según se establece en la Tabla 1.

Tabla 1 – Clasificación de las vías

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
A	de alta velocidad	$v > 60$
B	de moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	carriles bici	--
D	de baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	vías peatonales	$v \leq 5$

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC – EA – 02

2.1.2. Mediante otros criterios, tales como el tipo de vía y la intensidad media de tráfico diario (IMD), se establecen subgrupos dentro de la clasificación anterior.

En las tablas 2, 3, 4 y 5 se definen las clases de alumbrado para las diferentes situaciones de proyecto correspondientes a la clasificación de vías anteriores.

Tabla 2 – Clases de alumbrado para vías tipo A

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado ^(*)
A1	<ul style="list-style-type: none"> • Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías). Intensidad de tráfico	ME1 ME2 ME3a
	Alta (IMD) \geq 25.000.....	
	Media (IMD) \geq 15.000 y $<$ 25.000.....	
	Baja (IMD) $<$ 15.000.....	
A2	<ul style="list-style-type: none"> • Carreteras de calzada única con doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas). Intensidad de tráfico	ME1 ME2
	Alta (IMD) $>$ 15.000	
	Media y baja (IMD) $<$ 15.000	
A3	<ul style="list-style-type: none"> • Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carriles bici. • Carreteras locales en zonas rurales sin vía de servicio. Intensidad de tráfico	ME1 / ME2 ME3a / ME4a
	IMD \geq 7.000.....	
	IMD $<$ 7.000	
A3	<ul style="list-style-type: none"> • Vías colectoras y rondas de circunvalación. • Carreteras interurbanas con accesos no restringidos. • Vías urbanas de tráfico importante, rápidas radiales y de distribución urbana a distritos. • Vías principales de la ciudad y travesía de poblaciones. Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.	ME1 ME2 ME3b ME4a / ME4b
	IMD \geq 25.000.....	
	IMD \geq 15.000 y $<$ 25.000	
	IMD \geq 7.000 y $<$ 15.000.....	
	IMD $<$ 7.000.....	

^(*) Para todas las situaciones de proyecto (A1, A2 y A3), cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 02

Tabla 3 – Clases de alumbrado para vías tipo B

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado ⁽¹⁾
B1	<ul style="list-style-type: none"> Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas. 	ME2 / ME3c ME4b / ME5 / ME6
	Intensidad de tráfico IMD \geq 7.000 IMD $<$ 7.000	
B2	<ul style="list-style-type: none"> Carreteras locales en áreas rurales. 	ME2 / ME3b ME4b / ME5
	Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera. IMD \geq 7.000 IMD $<$ 7.000	

⁽¹⁾ Para todas las situaciones de proyecto B1 y B2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Tabla 4 – Clases de alumbrado para vías tipos C y D

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado ⁽¹⁾
C1	<ul style="list-style-type: none"> Carriles bici independientes a lo largo de la calzada, entre ciudades en área abierta y de unión en zonas urbanas 	S1 / S2 S3 / S4
	Flujo de tráfico de ciclistas Alto Normal	
D1 - D2	<ul style="list-style-type: none"> Áreas de aparcamiento en autopistas y autovías. Aparcamientos en general. Estaciones de autobuses. 	CE1A / CE2 CE3 / CE4
	Flujo de tráfico de peatones Alto Normal	
D3 - D4	<ul style="list-style-type: none"> Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada Zonas de velocidad muy limitada 	CE2 / S1 / S2 S3 / S4
	Flujo de tráfico de peatones y ciclistas Alto Normal	

⁽¹⁾ Para todas las situaciones de alumbrado C1-D1-D2-D3 y D4, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 02

Tabla 5 - Clases de alumbrado para vías tipo E

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado ^(*)
E1	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Espacios peatonales de conexión, calles peatonales, y aceras a lo largo de la calzada.</i> • <i>Paradas de autobús con zonas de espera</i> • <i>Áreas comerciales peatonales.</i> 	
	Flujo de tráfico de peatones	
	Alto.....	CE1A / CE2 / S1
	Normal	S2 / S3 / S4
E2	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Zonas comerciales con acceso restringido y uso prioritario de peatones.</i> 	
	Flujo de tráfico de peatones	
	Alto.....	CE1A / CE2 / S1
	Normal	S2 / S3 / S4

(*) Para todas las situaciones de alumbrado E1 y E2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

2.1.3 Cuando para una determinada situación de proyecto e intensidad de tráfico puedan seleccionarse distintas clases de alumbrado, se elegirá la clase teniendo en cuenta la complejidad del trazado, el control de tráfico, la separación de los distintos tipos de usuarios y otros parámetros específicos.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 02

2.2 Niveles de iluminación de los viales

En las tablas 6, 7, 8 y 9 se reflejan los requisitos fotométricos aplicables a las vías correspondientes a las diferentes clases de alumbrado.

Tabla 6 - Series ME de clase de alumbrado para viales secos tipos A y B

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia ⁽⁴⁾ Media L_m (cd/m ²) ⁽¹⁾	Uniformidad Global U_o [mínima]	Uniformidad Longitudinal U_l [mínima]	Incremento Umbral TI (%) ⁽²⁾ [máximo]	Relación Entorno SR ⁽³⁾ [mínima]
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

⁽¹⁾ Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de (TI), que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento (f_m) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

⁽²⁾ Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral (TI).

⁽³⁾ La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan otras áreas contiguas a la calzada que tengan sus propios requisitos. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tráfico, recomendándose a ser posible 5 m de anchura.

⁽⁴⁾ Los valores de luminancia dados pueden convertirse en valores de iluminancia, multiplicando los primeros por el coeficiente R (según C.I.E.) del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca.

En la tabla 7 se concretan los niveles de iluminación de las series MEW de clases de alumbrado a aplicar en aquellas zonas geográficas en las que la intensidad y persistencia de la lluvia provoque que, durante una parte significativa de las horas nocturnas a lo largo del año, la superficie de la calzada permanezca mojada (aproximadamente 120 días de lluvia anuales). En ella se incluye un requisito adicional de uniformidad global con calzada húmeda para evitar la degradación de las prestaciones durante los periodos húmedos.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	ITC - EA - 02
--	--	---------------

Tabla 7 – Series MEW de clase de alumbrado para viales húmedos tipos A y B

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas y húmedas				Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Calzada seca		Calzada húmeda			
	Luminancia Media L_m (cd/m ²) ⁽¹⁾	Uniformidad Global U_0 [mínima]	Uniformidad Longitudinal U_l ⁽²⁾ [mínima]	Uniformidad Global U_0 [mínima]	Incremento Umbral TI (%) ⁽³⁾ [máximo]	Relación Entorno SR ⁽⁴⁾ [mínima]
MEW1	2,00	0,40	0,60	0,15	10	0,50
MEW2	1,50	0,40	0,60	0,15	10	0,50
MEW3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,50
MEW4	0,75	0,40	Sin requisitos	0,15	15	0,50
MEW5	0,50	0,35	Sin requisitos	0,15	15	0,50

⁽¹⁾ Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de (TI), que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento (f_m) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

⁽²⁾ Este criterio es voluntario pero puede utilizarse, por ejemplo, en autopistas, autovías y carreteras de calzada única de doble sentido de circulación y accesos limitados.

⁽³⁾ Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral (TI)

⁽⁴⁾ La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan áreas contiguas a la calzada con sus propios requerimientos. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tráfico recomendándose a ser posible 5 m de anchura.

⁽⁵⁾ Los valores de luminancia dados pueden convertirse en valores de iluminancia, multiplicando los primeros por el coeficiente R (según C.I.E.) del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca.

Tabla 8 – Series S de clase de alumbrado para viales tipos C, D y E

Clase de Alumbrado ⁽¹⁾	Iluminancia horizontal en el área de la calzada	
	Iluminancia Media E_m (lux) ⁽¹⁾	Iluminancia mínima E_{min} (lux) ⁽¹⁾
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1

⁽¹⁾ Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento (f_m) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

00361

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 02

Tabla 9 – Series CE de clase de alumbrado para viales tipos D y E

Clase de Alumbrado (1)	Iluminancia horizontal	
	Iluminancia Media <i>Em (lux)</i> [mínima mantenida ⁽¹⁾]	Uniformidad Media <i>Um</i> [mínima]
CE0	50	0,40
CE1	30	0,40
CE1A	25	0,40
CE2	20	0,40
CE3	15	0,40
CE4	10	0,40
CE5	7,5	0,40

(1) Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento (f_m) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

(2) También se aplican en espacios utilizados por peatones y ciclistas.

2.3 Niveles de iluminación de zonas especiales de viales

Una zona de un vial se considera especial debido a los problemas específicos de visión y maniobras que tienen que realizar los vehículos que circulan por ella, tales como enlaces e intersecciones, glorietas y rotondas, zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada, curvas y viales sinuosos en pendiente, zonas de incorporación de nuevos carriles, o pasos inferiores.

En los carriles-bici o zonas peatonales (vías del tipo C o E), no se considera que existan este tipo de zonas especiales.

Para dichos espacios se tendrá en cuenta, por orden de prelación, los siguientes criterios:

a) Criterio de luminancia

Si la zona especial es parte de una vía de tipo A o B, se aplicarán los niveles basados en la luminancia de la superficie de la calzada de las series ME de la tabla 6, de forma que para la zona especial, la clase de alumbrado que se establezca será un grado superior al de la vía a la que corresponde dicho espacio. Si confluyen varias vías en una zona especial, tal y como puede suceder en los cruces, la clase de alumbrado será un grado superior al de la vía que tenga la clase de alumbrado más elevada.

b) Criterio de iluminación.

Si la zona especial es parte de una vía de tipo D o cuando no sea posible aplicar el criterio de luminancia, debido a que la distancia de visión resulte inferior a 60 m (valor mínimo utilizado en el cálculo de la luminancia) y cuando no se pueda situar adecuadamente al observador, dada la sinuosidad y complejidad de la zona especial de vial, se aplicará el criterio de iluminación, con unos niveles de iluminación correspondientes a la serie CE de clases de alumbrado de la tabla 9. Entre las clases de alumbrado CE1 y CE0, podrá adoptarse un nivel de iluminación intermedio.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 02

Cuando se utilice el criterio de iluminancia, la clase de alumbrado que se establezca para la zona especial de vial, será un grado superior a la de la vía de tráfico donde se sitúa dicha zona. Asimismo, si confluyen varias vías, la clase de alumbrado de la zona especial de vial será un grado superior al de la vía de tráfico que tenga la clase de alumbrado más elevada.

Cuando se utiliza el criterio de iluminancia, no es posible calcular el deslumbramiento perturbador o incremento de umbral TI fijado en las tablas 6 y 7, dado que se precisa determinar la luminancia media de la calzada. En este caso, la evaluación de dicho deslumbramiento se llevará a cabo mediante la utilización de los niveles de referencia de la intensidad luminosa de las luminarias, establecida en la tabla 10.

Tabla 10 - Clases G de intensidad luminosa de las luminarias

Clase de Intensidad	Intensidad Máxima (cd/klm) ⁽¹⁾			Otros requisitos
	$70^\circ \leq \gamma < 80^\circ$	$80^\circ \leq \gamma < 90^\circ$	$\gamma \geq 90^\circ$	
G1	-	200	50	Ninguno
G2	-	150	30	Ninguno
G3	-	100	20	Ninguno
G4	500	100	10	Intensidades por encima de 95° deben ser cero
G5	350	100	10	
G6	350	100	0	Ninguno

⁽¹⁾ Todas las intensidades son proporcionales al flujo de la lámpara para 1.000 lm.
 NOTA: Las clases de intensidad G1, G2 y G3 corresponden a distribuciones fotométricas "semi cut-off" y "cut-off", de uso tradicional. Las clases de intensidad G4, G5 y G6 se asignan a luminarias con distribución "cut-off" total, como las luminarias de cierre de vidrio plano en la posición horizontal.

3. ALUMBRADOS ESPECÍFICOS

Se consideran alumbrados específicos los que corresponden a pasarelas peatonales, escaleras y rampas, pasos subterráneos peatonales, alumbrado adicional de pasos de peatones, parques y jardines, pasos a nivel de ferrocarril, fondos de saco, glorietas, túneles y pasos inferiores, aparcamientos de vehículos al aire libre y áreas de trabajo exteriores, así como cualquier otro que pueda asimilarse a los anteriores..

Los requisitos fotométricos serán los especificados a continuación.

3.1 Alumbrado de Pasarelas Pevtonales, Escaleras y Rampas

La clase de alumbrado será CE2 y, en caso de riesgo de inseguridad ciudadana, podrá adoptarse la clase CE1. Cuando existan escaleras y rampas de acceso, la iluminancia en el plano vertical no será inferior al 50% del valor en el plano horizontal de forma que se asegure una buena percepción de los peldaños.

3.2 Alumbrado de Pasos Subterráneos Pevtonales

La clase de alumbrado será CE1, con una uniformidad media de 0,5 pudiendo elevarse, en el caso de que se estime un riesgo de inseguridad alto, a CE0 y la misma uniformidad. Asimismo, en el supuesto de que la longitud del paso subterráneo peatonal así lo exija, deberá preverse un alumbrado diurno con un nivel luminoso de 100 lux y una uniformidad media de 0,5.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	ITC – EA – 02
--	---	---------------

3.3 Alumbrado Adicional de Pasos de Peatones

En el alumbrado adicional de los pasos de peatones, cuya instalación será prioritaria en aquellos pasos sin semáforo, la iluminancia de referencia mínimo en el plano vertical será de 40 lux, y una limitación en el deslumbramiento G2 en la dirección de circulación de vehículos y G3 en la dirección del peatón (tabla 10). La clase de alumbrado será CE1 en áreas comerciales e industriales y CE2 en zonas residenciales.

3.4 Alumbrado de Parques y Jardines

Los viales principales, tales como accesos al parque o jardín, sus paseos y glorietas, áreas de estancia y escaleras, que estén abiertos al público durante las horas nocturnas, deberán iluminarse como las vías de tipo E (tabla 5).

3.5 Alumbrado de Pasos a Nivel de Ferrocarril

El nivel de iluminación sobre la zona de cruce, comenzando a una distancia mínima de 40 m y finalizando 40 m después, será CE2, recomendándose una clase de alumbrado CE1.

3.6 Alumbrado de Fondos de Saco

El alumbrado de una calzada en fondo de saco se ejecutará de forma que se señalen con exactitud a los conductores los límites de la calzada. El nivel de iluminación de referencia será CE2.

3.7 Alumbrado de Glorietas

Además de la iluminación de la glorieta el alumbrado deberá extenderse a las vías de acceso a la misma, en una longitud adecuada de al menos de 200 m en ambos sentidos.

Los niveles de iluminación para glorietas serán un 50% mayores que los niveles de los accesos o entradas, con los valores de referencia siguientes:

- Iluminancia media horizontal $E_m \geq 40$ lux
- Uniformidad media $U_m \geq 0,5$
- Deslumbramiento máximo $GR \leq 45$

En zonas urbanas o en carreteras dotadas de alumbrado público, el nivel de iluminación de las glorietas será como mínimo un grado superior al del tramo que confluye con mayor nivel de iluminación, cumpliéndose en todo caso lo establecido en el apartado 2.3 referente a zonas especiales de viales.

3.8 Alumbrado de Túneles y Pasos Inferiores

Se considerarán como valores de referencia, los niveles de iluminación especificados en la Publicación CIE 88:2004 "Guía para alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores".

3.9 Aparcamientos de vehículos al aire libre

El alumbrado de aparcamientos al aire libre cumplirá con los requisitos fotométricos de las clases de alumbrado correspondientes a la situación de proyecto D1-D2, establecidos en la tabla 4.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	ITC - EA - 02
--	---	---------------

3.10 Alumbrado de Áreas de Trabajo Exteriores

Se considerarán como valores de referencia, los niveles de iluminación especificados en la norma EN 12464-2:2007

4. ALUMBRADO ORNAMENTAL

Se consideran alumbrados ornamentales los que corresponden a la iluminación de fachadas de edificios y monumentos, así como estatuas, murallas, fuentes, etc., y paisajista de ríos, riberas, frondosidades, equipamientos acuáticos, etc.

Los valores de referencia de los niveles de iluminancia media en servicio, con mantenimiento de la instalación, del alumbrado ornamental serán los establecidos en la tabla 11.

Tabla 11 - Niveles mínimos de iluminancia media en servicio del alumbrado ornamental

NATURALEZA DE LOS MATERIALES DE LA SUPERFICIE ILUMINADA	NIVELES DE ILUMINANCIA MEDIA (Lux) ⁽¹⁾			COEFICIENTES MULTIPLICADORES DE CORRECCIÓN ⁽²⁾			
	Iluminación de los alrededores			Corrección para el tipo de lámpara		Corrección para el estado de la superficie iluminada	
	Baja	Media	Elevada	H.M. V.M.	S.A.P. S.B.P.	Sucia	Muy Sucia
Piedra clara, mármol claro	20	30	60	1,0	0,9	3,0	5,0
Piedra media, cemento, mármol coloreado claro	40	60	120	1,1	1,0	2,5	5,0
Piedra oscura, granito gris, mármol oscuro	100	150	300	1,0	1,1	2,0	3,0
Ladrillo amarillo claro	35	50	100	1,2	0,9	2,5	5,0
Ladrillo marrón claro	40	60	120	1,2	0,9	2,0	4,0
Ladrillo marrón oscuro, granito rosa	55	80	160	1,3	1,0	2,0	4,0
Ladrillo rojo	100	150	300	1,3	1,0	2,0	3,0
Ladrillo oscuro	120	180	360	1,3	1,2	1,5	2,0
Hormigón arquitectónico	60	100	200	1,3	1,2	1,5	2,0
REVESTIMIENTO DE ALUMINIO:							
- Terminación natural	200	300	600	1,2	1,1	1,5	2,0
- termolacado muy coloreado (10%) rojo, marrón, amarillo	120	180	360	1,3	1,0	1,5	2,0
- termolacado muy coloreado (10%) azul - verdoso	120	180	360	1,0	1,3	1,5	2,0
- termolacado colores medios (30 - 40%) rojo, marrón, amarillo	40	60	120	1,2	1,0	2,0	4,0
- termolacado colores medios (30 - 40%) azul - verdoso	40	60	120	1,0	1,2	2,0	4,0
- termolacado colores pastel (60 - 70%) rojo, marrón, amarillo	20	30	60	1,1	1,0	3,0	5,0
- termolacado colores pastel (60 - 70%) azul - verdoso	20	30	60	1,0	1,1	3,0	5,0

⁽¹⁾ Valores mínimos de iluminancia media en servicio con mantenimiento de la instalación sobre la superficie limpia iluminada con lámparas de incandescencia.

⁽²⁾ Coeficientes multiplicadores de corrección para lámparas de halogenuros metálicos (H.M.), vapor de mercurio (V.M.), de vapor de sodio a alta presión (S.A.P.) y a baja presión (S.B.P.), así como para el estado de limpieza de la superficie iluminada.

En todo caso, se deberán cumplir los valores máximos de luminancia media, establecidas para cada zona E1, E2, E3 y E4 en la tabla 3 de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-03.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC – EA – 02

5. ALUMBRADO PARA VIGILANCIA Y SEGURIDAD NOCTURNA

Es el correspondiente a la iluminación de fachadas y áreas destinadas a actividades industriales, comerciales, de servicios, deportivas y recreativas, etc. con fines de vigilancia y seguridad durante la noche.

La tabla 12 incluye los valores de referencia de los niveles de iluminancia media vertical en fachada del edificio y horizontal en las inmediaciones del mismo, en función de la reflectancia o factor de reflexión ρ de la fachada.

Tabla 12 – Niveles de iluminancia media en alumbrado para vigilancia y seguridad nocturna

Factor de reflexión Fachada Edificio	Iluminancia Media E_m (lux) ⁽¹⁾	
	Vertical en Fachada ⁽²⁾	Horizontal en Inmediaciones
Muy clara $\rho=0,60$	1	1
Normal $\rho=0,30$	2	2
Oscura $\rho=0,15$	4	2
Muy oscura $\rho=0,075$	8	4

⁽¹⁾ Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado.
⁽²⁾ La iluminancia media vertical solo se considerará hasta una altura de 4 m desde el suelo

En las áreas destinadas a actividades industriales, comerciales, de servicios, deportivas, recreativas, etc. los niveles de referencia medios de iluminancia serán los siguientes:

- Áreas de riesgo normal: 5 lux
- Áreas de riesgo elevado: 20 lux
- Áreas de alto riesgo: 50 lux

Para la obtención de los niveles anteriores se admitirá la instalación de un sistema de alumbrado de seguridad temporizado, activado por detectores de presencia.

6. ALUMBRADO DE SEÑALES Y ANUNCIOS LUMINOSOS

Es el correspondiente a señales, carteles, anuncios luminosos, anuncios iluminados, alumbrado de escaparates, mobiliario urbano y edículos como marquesinas, cabinas telefónicas, etc. Se excluyen de este tipo todas las señales y anuncios de tráfico.

Los valores de referencia de niveles máximos de luminancia (cd/m^2) para señales y anuncios luminosos e iluminados en función de la superficie (m^2), son los determinados en la tabla 13.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC – EA – 02

Tabla 13 – Niveles de luminancia máxima de señales y anuncios luminosos.

Superficie (m ²)	Luminancia Máxima (cd/m ²)
$S \leq 0,5$	1.000
$0,5 < S \leq 2$	800
$2 < S \leq 10$	600
$S > 10$	400

En todo caso, se deberán cumplir los valores máximos de luminancia de rótulos y anuncios luminosos, establecidos para cada Zona E1, E2, E3 y E4 en la tabla 3 de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-03.

7. ALUMBRADO FESTIVO Y NAVIDEÑO

La potencia máxima instalada por unidad de superficie (W/m²), en función de la anchura de la calle y del número de horas de funcionamiento por año del alumbrado festivo o navideño, no sobrepasarán los valores establecidos en la tabla 14. No se establece límite de potencia instalada por unidad de superficie para alumbrados festivos y navideños cuya duración de funcionamiento sea inferior a 100 horas anuales.

Tabla 14 – Valores máximos de la potencia instalada en alumbrado festivo y navideño.

Anchura de la calle entre fachadas	Potencia máxima instalada por unidad de superficie W/m ²	
	Nº de horas al año de funcionamiento mayor de 200 horas	Nº de horas al año de funcionamiento entre 100 y 200 horas
Hasta 10 m	10	15
Entre 10 m y 20 m	8	12
Más de 20 m	6	9

8. DESLUMBRAMIENTOS

8.1 Instalaciones de Alumbrado vial funcional

En las instalaciones de alumbrado funcional, el deslumbramiento perturbador o incremento de umbral máximo TI en %, para cada clase de alumbrado será el establecido en la tabla 6 de esta ITC-EA-02.

Cuando se utilice el criterio de iluminancia, de conformidad con lo señalado en el epígrafe 2.3 de esta ITC, se limitará la intensidad luminosa de las luminarias conforme a lo dispuesto en la tabla 10 de esta ITC-EA-02.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 02

8.2 Instalaciones de Alumbrado vial ambiental

La tabla 15 proporciona las clases D de índice de deslumbramiento que se utilizará para satisfacer los requisitos apropiados del deslumbramiento molesto para las luminarias de ambiente con superficie luminosa difusora, instaladas a baja altura.

El índice de deslumbramiento de una instalación de alumbrado vial ambiental es

$$D = I \cdot A^{-0.5} \text{ cd/m}^2$$

donde:

- I es el valor máximo de la intensidad luminosa (cd) en cualquier dirección que forme un ángulo de 85° con la vertical.
- A es el área aparente (m²) de las partes luminosas de la luminaria en un plano perpendicular a la dirección de la intensidad (I).

Si en la dirección de la intensidad I, son visibles partes de la fuente luminosa, bien directamente o bien como imágenes, se aplicará la clase D0. En este caso se deberán utilizar fuentes luminosas de bajo brillo, por ejemplo lámparas fluorescentes.

Tabla 15 - Clases D de índice de deslumbramiento

Clase	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Índice de deslumbramiento máximo	-	7.000	5.500	4.000	2.000	1.000	500

Para alumbrado de vías peatonales, las clases D de índice de deslumbramiento máximo en función de la altura h de montaje en metros de las luminarias, serán las indicadas en la tabla 16:

Tabla 16 - Índice de deslumbramiento en función de la altura de montaje

Altura de Montaje	Clases D
$h \leq 4,5$	D3
$4,5 < h \leq 6$	D2
$h > 6$	D1

8.3 Otras Instalaciones de Alumbrado

Para evaluar el deslumbramiento en la iluminación -de recintos abiertos-superficies, instalaciones deportivas y áreas de trabajo exteriores, aparcamientos y, en general, en la iluminación a gran altura se utiliza el índice de deslumbramiento GR cuya escala de 0 a 100, en orden creciente de deslumbramiento es la indicada en la tabla 17:

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 02

Tabla 17 - Evaluación del deslumbramiento mediante el índice GR

Deslumbramiento	Índice GR
Insignificante	10
Ligero	30
Límite admisible	50
Molesto	70
Insoportable	90

Los límites de deslumbramiento para este tipo de instalaciones de alumbrado son los establecidos en la tabla 18.

Tabla 18 - Límites del deslumbramiento en recintos abiertos y, en general en la iluminación a gran altura

Destino del alumbrado	Tipo de Actividad	GR _{máx}
A la salvaguarda y seguridad	Riesgos bajos	55
	Riesgos medios	50
	Riesgos altos	45
Al movimiento y seguridad	Solamente peatones	55
	Tráfico lento	50
	Tráfico normal	45
Al trabajo	Basto	55
	Basto y medio	50
	Fino	45
Instalaciones deportivas	Entrenamiento	55
	Competición	50
Para tareas decisivas de visión en áreas de trabajo los valores de GR máx serán 5 unidades por debajo de las establecidas		

9. NIVELES DE ILUMINACIÓN REDUCIDOS

Con la finalidad de ahorrar energía, disminuir el resplandor luminoso nocturno y limitar la luz molesta, a ciertas horas de la noche, deberá reducirse el nivel de iluminación en las instalaciones de alumbrado vial, alumbrado específico, alumbrado ornamental y alumbrado de señales y anuncios luminosos, con potencia instalada superior a 5 kW salvo que, por razones de seguridad, a justificar en el proyecto, no resultara recomendable efectuar variaciones temporales o reducción de los niveles de iluminación.

Cuando se reduzca el nivel de iluminación, es decir, se varíe la clase de alumbrado a una hora determinada, deberán mantenerse los criterios de uniformidad de luminancia / iluminancia y deslumbramiento establecidos en ésta Instrucción ITC-EA-02.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	ITC - EA - 02
--	---	---------------

10. CLASES DE ALUMBRADO DE SIMILAR NIVEL DE ILUMINACION

En la Tabla 19 se indican en la misma columna las diferentes clases de alumbrado que se consideran equivalentes por tener un nivel de iluminación similar.

TABLA 19 – Clases de alumbrado de similar nivel de iluminación.

	ME 1 MEW 1	ME 2 MEW 2	ME 3 MEW 3	ME 4 MEW 4	ME 5 MEW 5	ME 6
CEO	CE 1	CE 2	CE 3	CE 4	CE 5	
			S 1	S 2	S 3	S 4

00365 VTA

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA O MOLESTA

ITC - EA - 03

Instrucción Técnica Complementaria EA -03

RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA O MOLESTA

INDICE

1. RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO
 - 1.1 Limitaciones de las Emisiones Luminosas
 - 1.2 Lámparas
2. LIMITACIÓN DE LA LUZ INTRUSA O MOLESTA

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA O MOLESTA	ITC – EA – 03
--	--	---------------

1. RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO

El resplandor luminoso nocturno o contaminación lumínica es la luminosidad producida en el cielo nocturno por la difusión y reflexión de la luz en los gases, aerosoles y partículas en suspensión en la atmósfera, procedente, entre otros orígenes, de las instalaciones de alumbrado exterior, bien por emisión directa hacia el cielo o reflejada por las superficies iluminadas.

En la Tabla 1 se clasifican las diferentes zonas en función de su protección contra la contaminación luminosa, según el tipo de actividad a desarrollar en cada una de las zonas.

Tabla 1 – Clasificación de zonas de protección contra la contaminación luminosa

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	DESCRIPCIÓN
E1	ÁREAS CON ENTORNOS O PAISAJES OSCUROS: Observatorios astronómicos de categoría internacional, parques nacionales, espacios de interés natural, áreas de protección especial (red natura, zonas de protección de aves, etc.), donde las carreteras están sin iluminar.
E2	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD BAJA: Zonas periurbanas o extrarradios de las ciudades, suelos no urbanizables, áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales, donde las carreteras están iluminadas.
E3	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD MEDIA: Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras) están iluminadas.
E4	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD ALTA: Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio, con elevada actividad durante la franja horaria nocturna.

1.1 Limitaciones de las Emisiones Luminosas

Se limitarán las emisiones luminosas hacia el cielo en las instalaciones de alumbrado exterior, con excepción de las de alumbrado festivo y navideño.

La luminosidad del cielo producida por las instalaciones de alumbrado exterior depende del flujo hemisférico superior instalado y es directamente proporcional a la superficie iluminada y a su nivel de iluminancia, e inversamente proporcional a los factores de utilización y mantenimiento de la instalación.

El flujo hemisférico superior instalado FHS_{inst} o emisión directa de las luminarias a implantar en cada zona E1, E2, E3 y E4, no superará los límites establecidos en la tabla 2.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA O MOLESTA

ITC - EA - 03

Tabla 2 - Valores límite del flujo hemisférico superior instalado

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO
	FHS _{INST}
E1	≤ 1%
E2	≤ 5%
E3	≤ 15%
E4	≤ 25%

Además de ajustarse a los valores de la tabla 2, para reducir las emisiones hacia el cielo tanto directas, como las reflejadas por las superficies iluminadas, la instalación de las luminarias deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Se iluminará solamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado.
- Los niveles de iluminación no deberán superar los valores máximos establecidos en la ITC-EA-02.
- El factor de utilización y el factor de mantenimiento de la instalación satisfarán los valores mínimos establecidos en la ITC-EA-04.

1.2 Lámparas

En la Zona E1 se utilizarán lámparas de vapor de sodio. Cuando no resulte posible utilizar dichas lámparas, se procederá a filtrar la radiación de longitudes de onda inferiores a 440 nm.

2. LIMITACIÓN DE LA LUZ INTRUSA O MOLESTA

Con objeto de minimizar los efectos de la luz intrusa o molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior, sobre residentes y sobre los ciudadanos en general, las instalaciones de alumbrado exterior, con excepción del alumbrado festivo y navideño, se diseñarán para que cumplan los valores máximos establecidos en la tabla 3 de los siguientes parámetros:

- Iluminancia vertical (E_v) en ventanas;
- Luminancia (L) de las luminarias medida como Intensidad luminosa (I) emitida por cada luminaria en la dirección potencial de la molestia;
- Luminancia media (L_m) de las superficies de los paramentos de los edificios que como consecuencia de una iluminación excesiva pueda producir molestias;
- Luminancia máxima (L_{max}) de señales y anuncios luminosos;
- Incremento umbral de contraste (TI) que expresa la limitación del deslumbramiento perturbador o incapacitante en las vías de tráfico rodado producido por instalaciones de alumbrado distintas de las de viales. Dicho incremento constituye la medida por la que se cuantifica la pérdida de visión causada por dicho deslumbramiento. El TI producido por el alumbrado vial esta limitado por la ITC-EA-02.

En función de la clasificación de zonas (E1, E2, E3 y E4) la luz molesta procedente de las instalaciones de alumbrado exterior, se limitará a los valores indicados en la tabla 3:

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA O MOLESTA

ITC - EA - 03

Tabla 3.- Limitaciones de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior

Parámetros luminotécnicos	Valores máximos			
	Observatorios astronómicos y parques naturales E1	Zonas periurbanas y áreas rurales E2	Zonas urbanas residenciales E3	Centros urbanos y áreas comerciales E4
Iluminancia vertical (E_v)	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
Intensidad luminosa emitida por las luminarias (I)	2.500 cd	7.500 cd	10.000 cd	25.000 cd
Luminancia media de las fachadas (L_m)	5 cd/m ²	5 cd/m ²	10 cd/m ²	25 cd/m ²
Luminancia máxima de las fachadas (L_{max})	10 cd/m ²	10 cd/m ²	60 cd/m ²	150 cd/m ²
Luminancia máxima de señales y anuncios luminosos ($L_{máx}$)	50 cd/m ²	400 cd/m ²	800 cd/m ²	1.000 cd/m ²
Incremento de umbral de contraste (TI)	Clase de Alumbrado			
	Sin Iluminación	ME 5	ME3 / ME4	ME1 / ME2
	TI = 15% para adaptación a $L = 0,1$ cd/m ²	TI = 15% para adaptación a $L = 1$ cd/m ²	TI = 15% para adaptación a $L = 2$ cd/m ²	TI = 15% para adaptación a $L = 5$ cd/m ²

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES

ITC - EA - 04

Instrucción Técnica Complementaria EA -04

COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES

INDICE

1. GENERALIDADES
2. LÁMPARAS
3. LUMINARIAS
 - 3.1 Prescripciones específicas de los proyectores
4. EQUIPOS AUXILIARES
5. SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO
6. SISTEMAS DE REGULACIÓN DEL NIVEL LUMINOSO

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES	ITC – EA – 04
--	---	---------------

1. GENERALIDADES

En lo referente a los métodos de medida y presentación de las características fotométricas de lámparas y luminarias, se seguirá lo establecido en las normas relevantes de la serie UNE-EN 13032 "Luz y alumbrado. Medición y presentación de datos fotométricos de lámparas y luminarias".

El flujo hemisférico superior instalado (FHS_{INST}), rendimiento de la luminaria (η), factor de utilización (f_u), grado de protección IP, eficacia de la lámpara y demás características relevantes para cada tipo de luminaria, lámpara o equipos auxiliares, deberán ser garantizados por el fabricante, mediante una declaración expresa o certificación de un laboratorio acreditado.

A fin de garantizar que los parámetros de diseño de las instalaciones se ajustan a los valores nominales previstos, los equipos auxiliares que se incorporen en las instalaciones de alumbrado, deberán cumplir las condiciones de funcionamiento establecidas en las normas UNE-EN de prescripciones de funcionamiento siguientes:

- a) UNE-EN 60921 - Balastos para lámparas fluorescentes
- b) UNE-EN 60923 - Balastos para lámparas de descarga, excluidas las fluorescentes.
- c) UNE-EN 60929 - Balastos electrónicos alimentados en c.a. para lámparas fluorescentes.

2. LÁMPARAS

Con excepción de las iluminaciones navideñas y festivas, las lámparas utilizadas en instalaciones de alumbrado exterior tendrán una eficacia luminosa superior a:

- a) 40 lum/W, para alumbrados de vigilancia y seguridad nocturna y de señales y anuncios luminosos
- b) 65 lum/W, para alumbrados vial, específico y ornamental

3. LUMINARIAS

Las luminarias incluyendo los proyectores, que se instalen en las instalaciones de alumbrado excepto las de alumbrado festivo y navideño, deberán cumplir con los requisitos de la tabla 1 respecto a los valores de rendimiento de la luminaria (η) y factor de utilización (f_u).

En lo referente al factor de mantenimiento (f_m) y al flujo hemisférico superior instalado (FHS_{inst}), cumplirán lo dispuesto en las ITC-EA-06 y la ITC-EA-03, respectivamente.

Además, las luminarias deberán elegirse de forma que se cumplan los valores de eficiencia energética mínima, para instalaciones de alumbrado vial y el resto de requisitos para otras instalaciones de alumbrado, según lo establecido en la ITC-EA-01.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES

ITC - EA - 04

Tabla 1 - Características de las luminarias y proyectores.

PARÁMETROS	ALUMBRADO VIAL		RESTO ALUMBRADOS (1)	
	Funcional	Ambiental	Proyectores	Luminarias
Rendimiento	$\geq 65\%$	$\geq 55\%$	$\geq 55\%$	$\geq 60\%$
Factor de utilización	(2)	(2)	$\geq 0,25$	$\geq 0,30$

(1) A excepción de alumbrado festivo y navideño.
(2) Alcanzarán los valores que permitan cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en las tablas 1 y 2 de la ITC-EA-01.

3.1 Prescripciones específicas de los proyectores

3.1.1 Los proyectores son luminarias cuya distribución fotométrica, conseguida mediante un sistema óptico especialmente diseñado, permite la iluminación a cierta distancia de la ubicación del proyector.

3.1.2 A fin de conseguir una elevada eficiencia energética, cuando se utilicen proyectores para la iluminación de superficies horizontales, deberán cumplirse los siguientes aspectos:

- a) Se emplearán preferentemente proyectores del tipo asimétrico con objeto de controlar la luz emitida hacia el hemisferio superior.
- b) El ángulo de inclinación en el emplazamiento, que corresponde al valor de $I_{m\acute{a}x}/2$ situado por encima de la intensidad máxima ($I_{m\acute{a}x}$) emitida por el proyector, será inferior a 70° respecto a la vertical. Es decir, que la inclinación de la intensidad máxima ($I_{m\acute{a}x}$) debe ser inferior a:
 - b.1.- 60° para un proyector cuyo semiángulo de apertura por encima de la $I_{m\acute{a}x}$ sea de 10° .
 - b.2.- 65° para un proyector cuyo semiángulo de apertura por encima de la $I_{m\acute{a}x}$ sea de 5° .

No obstante, en todo caso, el ángulo de inclinación correspondiente a la intensidad máxima ($I_{m\acute{a}x}$) será inferior a 70° respecto a la vertical.

- c) La intensidad en ángulos superiores a 85° emitida por el proyector, se limitará a 50 cd/klm como máximo.

3.1.3 En la iluminación de superficies verticales, como por ejemplo, la ornamental de fachadas y monumentos, siempre que resulte factible, deberán cumplirse los siguientes aspectos:

- a) Con objeto de controlar la luz, se emplearán preferentemente proyectores del tipo asimétrico o que dispongan del apantallamiento preciso.
- b) La iluminación deberá realizarse preferentemente en sentido descendente, es decir, de arriba hacia abajo.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES	ITC - EA - 04
--	----------------------------------	---------------

- c) Cuando esto resulte imposible, deberá tratarse que la línea de intensidad máxima del proyector no sobrepase la horizontal en más de 30°
- d) El flujo luminoso emitido por el proyector se ajustará a la superficie a iluminar y, en todo caso, no se proyectará fuera de la referida superficie una intensidad luminosa superior a 50 cd/klm.

4. EQUIPOS AUXILIARES

La potencia eléctrica máxima consumida por el conjunto del equipo auxiliar y lámpara de descarga, no superará los valores de la tabla 2.

Tabla 2 - Potencia máxima del conjunto lámpara y equipo auxiliar.

POTENCIA NOMINAL DE LÁMPARA (W)	POTENCIA TOTAL DEL CONJUNTO (W)			
	SAP	HM	SBP	VM
18	--	--	23	--
35	--	--	42	--
50	62	--	--	60
55	--	--	65	--
70	84	84	--	--
80	--	--	--	92
90	--	--	112	--
100	116	116	--	--
125	--	--	--	139
135	--	--	163	--
150	171	171	--	--
180	--	--	215	--
250	277	270 (2,15A) 277 (3A)	--	270
400	435	425 (3,5A) 435 (4,6A)	--	425

La potencia eléctrica máxima consumida del conjunto equipo auxiliar y lámpara fluorescente se ajustarán a los valores admitidos por el Real Decreto 838/2002, de 2 de agosto, por el que se establecen los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes.

5. SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO

Los sistemas de accionamiento deberán garantizar que las instalaciones de alumbrado exterior se enciendan y apaguen con precisión a las horas previstas cuando la luminosidad ambiente lo requiera, al objeto de ahorrar energía.

El accionamiento de las instalaciones de alumbrado exterior podrá llevarse a cabo mediante diversos dispositivos, como por ejemplo, fotocélulas, relojes astronómicos y sistemas de encendido centralizado.

Toda instalación de alumbrado exterior con una potencia de lámparas y equipos auxiliares superiores a 5 kW, deberá incorporar un sistema de accionamiento por reloj astronómico o sistema de encendido centralizado, mientras que en aquellas con una potencia en lámparas y equipos auxiliares inferior o igual a 5 kW también podrá incorporarse un sistema de accionamiento mediante fotocélula.

00369 VTA

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES

ITC - EA - 04

6. SISTEMAS DE REGULACIÓN DEL NIVEL LUMINOSO

Con la finalidad de ahorrar energía, las instalaciones de alumbrado recogidas en el capítulo 9 de la ITC-EA-02, se proyectarán con dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso mediante alguno de los sistemas siguientes:

- a) balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia;
- b) reguladores - estabilizadores en cabecera de línea;
- c) balastos electrónicos de potencia regulable.

Los sistemas de regulación del nivel luminoso deberán permitir la disminución del flujo emitido hasta un 50% del valor en servicio normal, manteniendo la uniformidad de los niveles de iluminación, durante las horas con funcionamiento reducido.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, VERIFICACIONES E INSPECCIONES	ITC - EA - 05
--	--	---------------

Instrucción Técnica Complementaria EA- 05

**DOCUMENTACIÓN TÉCNICA,
VERIFICACIONES E INSPECCIONES**

INDICE

- 1. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA
 - 1.1 Proyecto
 - 1.2 Memoria Técnica de Diseño (MTD)
- 2. VERIFICACIÓN E INSPECCIÓN DE LAS INSTALACIONES
 - 2.1 Régimen de verificaciones e inspecciones
 - 2.2 Mediciones
 - 2.3 Procedimiento de evaluación
 - 2.4 Clasificación de Defectos y Deficiencias de Funcionamiento

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, VERIFICACIONES E INSPECCIONES

ITC – EA – 05

1. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

Según lo previsto en el artículo 10 del reglamento de eficiencia de alumbrado exterior, la documentación complementaria de las instalaciones incluidas en el ámbito de aplicación del mismo contendrá los cálculos de eficiencia energética y demás requisitos establecidos en la presente instrucción técnica complementaria, en forma de proyecto o memoria técnica de diseño, según corresponda.

1.1 Proyecto

La redacción del proyecto deberá ser tal que permita la ejecución de las obras e instalaciones previstas por otro técnico distinto al autor del mismo.

En la memoria del proyecto se concretarán las características de todos y cada uno de los componentes y de las obras proyectadas, con especial referencia al cumplimiento del reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y a la mejora de la eficiencia y ahorro energético. Entre otros datos, se deberán incluir:

- a) Los referentes al titular de la instalación.
- b) Emplazamiento de la instalación.
- c) Uso al que se destina.
- d) Relación de luminarias, lámparas y equipos auxiliares que se prevea instalar y su potencia.
- e) Factor de utilización (f_u) y de mantenimiento (f_m) de la instalación de alumbrado exterior, eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares a utilizar (e_L), rendimiento de la luminaria (η), flujo hemisférico superior instalado (FHS_{inst}), disposición espacial adoptada para las luminarias y, cuando proceda, la relación luminancia/iluminancia (L/E) de la instalación.
- f) Régimen de funcionamiento previsto y descripción de los sistemas de accionamiento y de regulación del nivel luminoso.
- g) Medidas adoptadas para la mejora de la eficiencia y ahorro energético, así como para la limitación del resplandor luminoso nocturno y reducción de la luz intrusa o molesta.

Asimismo, de acuerdo con lo dispuesto en la ITC-EA-01, en las instalaciones de alumbrado exterior, con excepción de las de alumbrado de señales y anuncios luminosos y las de alumbrado festivo y navideño, deberá incorporarse:

- h) Cálculo de la eficiencia energética de la instalación ϵ , para cada una de las soluciones adoptadas.
- i) Calificación energética de la instalación en función del índice de eficiencia energética (I_e).

La memoria del proyecto se complementará con los anexos relativos a los cálculos luminotécnicos -iluminancias, luminancias con sus uniformidades y deslumbramientos, relación de entorno-, el plan de mantenimiento a llevar a cabo y los correspondientes a la determinación de los costes de explotación y mantenimiento.

1.2 Memoria Técnica de Diseño (MTD)

En la memoria se concretarán las características de todos y cada uno de los componentes y de las obras proyectadas, con especial referencia al cumplimiento del reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y a la mejora de la eficiencia y ahorro energético. Entre otros datos, se deberán incluir:

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, VERIFICACIONES E INSPECCIONES	ITC – EA – 05
--	--	---------------

- a) Los referentes al titular de la instalación.
- b) Emplazamiento de la instalación.
- c) Uso al que se destina.
- d) Relación de luminarias, lámparas y equipos auxiliares que se prevea instalar y su potencia.
- e) Factor de utilización (f_u) y de mantenimiento (f_m) de la instalación de alumbrado exterior, eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares a utilizar (ϵ_L), rendimiento de la luminaria (η), flujo hemisférico superior instalado (FHS_{inst}) y disposición espacial adoptada para las luminarias.
- f) Régimen de funcionamiento previsto y descripción de los sistemas de accionamiento de la instalación.
- g) Medidas adoptadas para la mejora de la eficiencia y ahorro energético, así como para la limitación del resplandor luminoso nocturno y reducción de la luz intrusa o molesta.

Asimismo, de acuerdo con lo dispuesto en la ITC-EA-01, en las instalaciones de alumbrado exterior, con excepción de las de alumbrado de señales y anuncios luminosos y las de alumbrado festivo y navideño, deberá incorporarse:

- h) Cálculo de la eficiencia energética de la instalación ϵ , para cada una de las soluciones adoptadas.
 - i) Calificación energética de la instalación en función del índice de eficiencia energética (I_e).
- La memoria técnica de diseño se complementará con los anexos relativos a los cálculos luminotécnicos de iluminancia con sus uniformidades.

Para las instalaciones de alumbrado festivo y navideño, solo será necesario incluir la información correspondiente a los apartados a), b), c) y d) anteriores, así como:

- j) Porcentaje de la potencia instalada correspondiente a lámparas incandescentes convencionales
- k) Anchura de la calle
- l) Potencia de las lámparas incandescentes convencionales utilizadas.
- m) Potencia máxima instalada, por unidad de superficie de la calle.

2. VERIFICACIÓN E INSPECCIÓN DE LAS INSTALACIONES

2.1 Régimen de verificaciones e inspecciones

En virtud de lo estipulado en el artículo 13 del reglamento, se comprobará el cumplimiento de las disposiciones y requisitos de eficiencia energética establecidos en el reglamento y sus instrucciones técnicas complementarias, mediante verificaciones e inspecciones, que serán realizadas, respectivamente, por instaladores autorizados de acuerdo con el Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y por organismos de control, autorizados para este campo reglamentario según lo dispuesto en el Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la infraestructura para la calidad y la seguridad industrial, que se indican a continuación:

- a) Verificación inicial, previa a su puesta en servicio: Todas las instalaciones;
- b) Inspección inicial, previa a su puesta en servicio: Las instalaciones de más de 5 kW de potencia instalada;
- c) Verificaciones cada 5 años: Las instalaciones de hasta 5 kW de potencia instalada;

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, VERIFICACIONES E INSPECCIONES	ITC – EA – 05
--	--	---------------

- d) Inspecciones cada 5 años: Las instalaciones de más de 5 kW de potencia instalada.

2.2 Mediciones

2.2.1 Una vez finalizada la instalación del alumbrado exterior se procederá a efectuar las mediciones eléctricas y luminotécnicas, con objeto de comprobar los cálculos del proyecto.

2.2.2 La verificación de la instalación de alumbrado, tanto inicial como periódica, a realizar por el instalador autorizado, comprenderá las siguientes mediciones:

- Potencia eléctrica consumida por la instalación. Dicha potencia se medirá mediante un analizador de potencia trifásico con una exactitud mejor que el 5%. Durante la medida de la potencia consumida, se registrará la tensión de alimentación y se tendrá en cuenta su desviación respecto a la tensión nominal, para el cálculo de la potencia de referencia utilizada en el proyecto.
- Iluminancia media de la instalación. El valor de dicha iluminancia será el valor medio de las iluminancias medidas en los puntos de la retícula de cálculo, de acuerdo con lo establecido en la ITC-EA-07. Podrá aplicarse el método simplificado de medida de la iluminancia media, denominado de los "nueve puntos".
- Uniformidad de la instalación. Para el cálculo de los valores de uniformidad media se tendrán en cuenta las medidas individuales realizadas para el cálculo de la iluminancia media.

2.2.3 La inspección de las instalaciones, tanto inicial como periódica, a realizar por el organismo de control, incluirá, además de las medidas descritas anteriormente, las siguientes:

- Luminancia media de la instalación. Esta medida se realizará cuando la situación de proyecto incluya clases de alumbrado con valores de referencia para dicha magnitud.
- Deslumbramiento perturbador y relación entorno SR

2.2.4 A partir de las medidas anteriores, se determinarán la eficiencia energética (ϵ) y el índice de eficiencia energética (I_e) reales de la instalación de alumbrado exterior. El valor de la eficiencia energética (ϵ) no deberá ser inferior en más de un 10% al del valor (ϵ) proyectado y la calificación energética de la instalación (I_e) deberá coincidir con la proyectada.

2.3 Procedimiento de evaluación

2.3.1 Los organismos de control realizarán la inspección de las instalaciones sobre la base de las prescripciones del reglamento de eficiencia energética de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias y, en su caso, de lo especificado en la documentación técnica, aplicando los criterios para la clasificación de defectos que se relacionan en el apartado siguiente. La empresa instaladora, si lo estima conveniente, podrá asistir a la realización de estas inspecciones.

En las verificaciones periódicas, los instaladores autorizados se atenderán a las mediciones establecidas en el apartado anterior.

Como resultado de la inspección o verificación, el organismo de control o el instalador autorizado, según el caso, emitirá un certificado de inspección o de verificación, respectivamente, en el cual figurarán los datos de identificación de la instalación, las medidas realizadas y la posible relación de defectos, con su clasificación, y la calificación de la instalación, que podrá ser:

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, VERIFICACIONES E INSPECCIONES	ITC – EA – 05
<p>a) Favorable: Cuando no se determine la existencia de ningún defecto muy grave o grave. En este caso, los posibles defectos leves se anotarán para constancia del titular, con la indicación de que deberá poner los medios para subsanarlos antes de la próxima inspección; Asimismo, podrán servir de base a efectos estadísticos y de control del buen hacer de las empresas instaladoras.</p> <p>b) Condicionada: Cuando se detecte la existencia de, al menos, un defecto grave o defecto leve procedente de otra inspección anterior que no se haya corregido. En este caso:</p> <p style="padding-left: 40px;">b.1) Las instalaciones nuevas que sean objeto de esta calificación no podrán ser suministradas de energía eléctrica en tanto no se hayan corregido los defectos indicados y puedan obtener la calificación de favorable.</p> <p style="padding-left: 40px;">b.2) A las instalaciones ya en servicio se les fijará un plazo para proceder a su corrección, que no podrá superar los 6 meses. Transcurrido dicho plazo sin haberse subsanado los defectos, el Organismo de Control deberá remitir el Certificado con la calificación negativa a la Administración pública competente.</p> <p>c) Negativa: Cuando se observe, al menos, un defecto muy grave. En este caso:</p> <p style="padding-left: 40px;">c.1) Las nuevas instalaciones no podrán entrar en servicio, en tanto no se hayan corregido los defectos indicados y puedan obtener la calificación de favorable.</p> <p style="padding-left: 40px;">c.2) A las instalaciones ya en servicio se les emitirá Certificado negativo, que se remitirá inmediatamente a la Administración pública competente.</p>		
<p><u>2.4 Clasificación de Defectos y Deficiencias de Funcionamiento</u></p>		
<p>Los defectos y deficiencias de funcionamiento en las instalaciones de alumbrado exterior se clasificarán en muy graves, graves y leves.</p>		
<p>2.4.1 Defecto y deficiencia de funcionamiento muy grave</p>		
<p>Defecto y deficiencia de funcionamiento muy grave serán aquellos que afecten muy gravemente a la eficiencia energética de la instalación, resplandor luminoso nocturno y luz intrusa o molesta generada.</p>		
<p>Sin carácter exhaustivo, se consideran, de modo expreso, defectos o deficiencias de funcionamiento muy graves, los siguientes:</p>		
<p>a) No alcanzar injustificadamente el 75% de los valores de eficiencia energética mínima (e) establecidos en la ITC-EA-01 o no llegar al 75% de los valores de eficiencia energética proyectados, cuando no existan valores mínimos.</p> <p>b) Superar injustificadamente en más del 50% los niveles máximos de iluminación en servicio con mantenimiento de la instalación (ITC-EA-02).</p> <p>c) Carecer de sistema de regulación del nivel luminoso conforme a las condiciones establecidas en el apartado 10 de la ITC-EA-02.</p> <p>d) Eludir reiteradamente el cumplimiento de los horarios de utilización de las instalaciones.</p> <p>e) Incumplir en más del 15% las limitaciones del flujo hemisférico superior instalado emitido por las luminarias establecidas en la ITC-EA-03.</p>		

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO
--

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, VERIFICACIONES E INSPECCIONES
--

ITC – EA – 05

- f) No implantar el servicio de mantenimiento.
- g) La manifiesta reincidencia en defectos y deficiencias de funcionamiento graves.

2.4.2 Defecto y deficiencia de funcionamiento grave

Defecto y deficiencia de funcionamiento grave serán aquellos que perjudiquen sustancialmente a la eficiencia energética de la instalación, o supongan un incremento importante el resplandor luminoso nocturno y la luz intrusa o molesta.

Sin carácter exhaustivo, se consideran, de modo expreso, defectos o deficiencias de funcionamiento graves, los siguientes:

- a) No alcanzar injustificadamente el 85% de los valores de eficiencia energética mínima (ϵ) establecidos en la ITC-EA-01 o no llegar al 85% de los valores de eficiencia energética proyectados, cuando no existan valores mínimos.
- b) Superar injustificadamente en más de un 30% los niveles máximos de iluminación en servicio con mantenimiento de la instalación establecidos en la ITC-EA-02.
- c) Implantar un sistema de regulación del nivel luminoso inadecuado o mantenerlo averiado de manera repetida.
- d) Eludir de forma reiterada, más de 10 veces durante el último año, el cumplimiento de los horarios de utilización de las instalaciones.
- e) Incumplir en más del 8% las limitaciones del flujo hemisférico superior instalado emitido por las luminarias establecidas en la ITC-EA-03.
- f) No adecuar las acciones de mantenimiento a las operaciones preventivas con la periodicidad necesaria, con caída sustancial del factor de mantenimiento establecido en la documentación técnica.
- g) La sucesiva reiteración en defectos y deficiencias de funcionamiento leves.

2.4.3 Defecto y deficiencia de funcionamiento leve

Defecto y deficiencia de funcionamiento leve será todo aquel que no perturbe de modo esencial la eficiencia energética de la instalación, o no genere un aumento trascendental del resplandor luminoso nocturno y de la luz intrusa o molesta.

Sin carácter exhaustivo, se consideran, de modo expreso, defectos o deficiencias de funcionamiento leves, los siguientes:

- a) No alcanzar, injustificadamente, el 90 % de los valores de eficiencia energética mínima (ϵ) establecidos en la ITC-EA-01 o no llegar al 90 % de los valores de eficiencia energética proyectados, cuando no existan valores mínimos.
- b) Superar, injustificadamente, en más de un 15% los niveles máximos de iluminación en servicio con mantenimiento de la instalación establecidos en la ITC-EA-02.
- c) Funcionamiento deficiente del sistema de regulación del nivel luminoso, con ahorro energético inferior al previsto en la documentación técnica (Proyecto o Memoria Técnica de Diseño).
- d) Eludir más de 4 veces al año el cumplimiento de los horarios de utilización de las instalaciones.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, VERIFICACIONES E INSPECCIONES	ITC - EA - 05
<p>e) Incumplir en más del 3% las limitaciones del flujo hemisférico superior instalado, emitido por las luminarias establecidas en la ITC-EA-03.</p> <p>f) Efectuar un mantenimiento insuficiente con caída del factor de mantenimiento de la instalación.</p> <p>g) Todos aquellos defectos y deficiencias de funcionamiento no calificados como graves y muy graves.</p>		

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES

ITC - EA - 06

Instrucción Técnica Complementaria EA- 06

MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES

INDICE

1. GENERALIDADES
2. FACTOR DE MANTENIMIENTO
3. OPERACIONES DE MANTENIMIENTO Y SU REGISTRO

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES	ITC – EA – 06
--	---	---------------

1. GENERALIDADES

Las características y las prestaciones de una instalación de alumbrado exterior se modifican y degradan a lo largo del tiempo. Una explotación correcta y un buen mantenimiento permitirán conservar la calidad de la instalación, asegurar el mejor funcionamiento posible y lograr una idónea eficiencia energética.

Las características fotométricas y mecánicas de una instalación de alumbrado exterior se degradarán a lo largo del tiempo debido a numerosas causas, siendo las más importantes las siguientes:

- La baja progresiva del flujo emitido por las lámparas.
- El ensuciamiento de las lámparas y del sistema óptico de la luminaria.
- El envejecimiento de los diferentes componentes del sistema óptico de las luminarias (reflector, refractor, cierre, etc.).
- El prematuro cese de funcionamiento de las lámparas.
- Los desperfectos mecánicos debidos a accidentes de tráfico, actos de vandalismo, etc.

La peculiar implantación de las instalaciones de alumbrado exterior a la intemperie, sometidas a los agentes atmosféricos, el riesgo que supone que parte de sus elementos sean fácilmente accesibles, así como la primordial función que dichas instalaciones desempeñan en materia de seguridad vial, así como de las personas y los bienes, obligan a establecer un correcto mantenimiento de las mismas.

2. FACTOR DE MANTENIMIENTO

El factor de mantenimiento (f_m) es la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada después de un determinado período de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior (Iluminancia media en servicio – $E_{servicio}$), y la iluminancia media obtenida al inicio de su funcionamiento como instalación nueva (Iluminación media inicial – $E_{inicial}$).

$$f_m = \frac{E_{servicio}}{E_{inicial}} = \frac{E}{E_i}$$

El factor de mantenimiento será siempre menor que la unidad ($f_m < 1$), e interesará que resulte lo más elevado posible para una frecuencia de mantenimiento lo más baja que pueda llevarse a cabo.

El factor de mantenimiento será función fundamentalmente de:

- a) El tipo de lámpara, depreciación del flujo luminoso y su supervivencia en el transcurso del tiempo;
- b) La estanqueidad del sistema óptico de la luminaria mantenida a lo largo de su funcionamiento;
- c) La naturaleza y modalidad de cierre de la luminaria;
- d) La calidad y frecuencia de las operaciones de mantenimiento;
- e) El grado de contaminación de la zona donde se instale la luminaria.

El factor de mantenimiento será el producto de los factores de depreciación del flujo luminoso de las lámparas, de su supervivencia y de depreciación de la luminaria, de forma que se verificará:

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES

ITC - EA - 06

$$f_m = \text{DFDL} \cdot \text{FSL} \cdot \text{FDLU}$$

Siendo:

DFDL = factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara.

FSL = factor de supervivencia de la lámpara.

FDLU = factor de depreciación de la luminaria.

En el caso de túneles y pasos inferiores de tráfico rodado y peatonales también se tendrá en cuenta el factor de depreciación de las superficies del recinto (FDSR), de forma que se cumplirá:

$$f_m = \text{DFDL} \cdot \text{FSL} \cdot \text{FDLU} \cdot \text{FDSR}$$

Los factores de depreciación y supervivencia máximos admitidos se indican en las tablas 1, 2 y 3:

Tabla 1 – Factores de depreciación del flujo luminoso de las lámparas (DFDL)

Tipo de lámpara	Período de funcionamiento en horas				
	4.000 h	6.000 h	8.000 h	10.000 h	12.000 h
Sodio alta presión	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Sodio baja presión	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
Halogenuros metálicos	0,82	0,78	0,76	0,76	0,73
Vapor de mercurio	0,87	0,83	0,80	0,78	0,76
Fluorescente tubular Trifósforo	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
Fluorescente tubular Halofosfato	0,82	0,78	0,74	0,72	0,71
Fluorescente compacta	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84

Tabla 2 – Factores de supervivencia de las lámparas (FSL)

Tipo de lámpara	Período de funcionamiento en horas				
	4.000 h	6.000 h	8.000 h	10.000 h	12.000 h
Sodio alta presión	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
Sodio baja presión	0,92	0,86	0,80	0,74	0,62
Halogenuros metálicos	0,98	0,97	0,94	0,92	0,88
Vapor de mercurio	0,93	0,91	0,87	0,82	0,76
Fluorescente tubular Trifósforo	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96
Fluorescente tubular Halofosfato	0,99	0,98	0,93	0,86	0,70
Fluorescente compacta	0,98	0,94	0,90	0,78	0,50

Tabla 3 – Factores de depreciación de las luminarias (FDLU)

Grado protección sistema óptico	Grado de contaminación	Intervalo de limpieza en años				
		1 año	1,5 años	2 años	2,5 años	3 años
IP 2X	Alto	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
	Medio	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	Bajo	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
IP 5X	Alto	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
	Medio	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	Bajo	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
IP 6X	Alto	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83
	Medio	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	Bajo	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90

A los efectos del cálculo del factor de mantenimiento, 1 año equivale a 4.000 h de funcionamiento.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES	ITC – EA – 06
--	--	---------------

En el caso de túneles y pasos inferiores, los factores de depreciación máximos de las superficies del recinto (FDSR) serán los establecidos en la tabla 4.

Tabla 4 – Factores de depreciación de las superficies del recinto (FDSR)

Índice del recinto ⁽¹⁾ <i>I_r</i>	Distribución flujo luminoso	Intervalo de limpieza en años																	
		0,5 años			1 año			1,5 años			2 años			2,5 años			3 años		
		Grado de Contaminación ⁽²⁾			Grado de Contaminación ⁽²⁾			Grado de Contaminación ⁽²⁾			Grado de Contaminación ⁽²⁾			Grado de Contaminación ⁽²⁾			Grado de Contaminación ⁽²⁾		
		B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
Pequeño <i>I_r = 0,7</i>	Directo	0,97	0,96	0,95	0,97	0,94	0,93	0,96	0,94	0,92	0,95	0,93	0,90	0,94	0,92	0,89	0,94	0,92	0,88
	Directo/Indirecto	0,94	0,88	0,84	0,90	0,86	0,82	0,89	0,83	0,80	0,87	0,82	0,78	0,85	0,80	0,75	0,84	0,79	0,74
	Indirecto	0,90	0,84	0,80	0,85	0,78	0,73	0,83	0,75	0,69	0,81	0,73	0,66	0,77	0,70	0,62	0,75	0,68	0,59
Medio <i>I_r = 2,5</i>	Directo	0,98	0,97	0,96	0,98	0,96	0,95	0,97	0,96	0,95	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94
	Directo/Indirecto	0,95	0,90	0,86	0,92	0,88	0,85	0,90	0,86	0,83	0,89	0,85	0,81	0,87	0,84	0,79	0,86	0,82	0,78
	Indirecto	0,92	0,87	0,83	0,88	0,82	0,77	0,86	0,79	0,74	0,84	0,77	0,70	0,81	0,74	0,67	0,78	0,72	0,64
Grande <i>I_r = 5</i>	Directo	0,99	0,97	0,96	0,98	0,96	0,95	0,97	0,96	0,93	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94
	Directo/Indirecto	0,95	0,90	0,86	0,94	0,88	0,85	0,90	0,86	0,83	0,89	0,85	0,81	0,87	0,84	0,79	0,86	0,82	0,78
	Indirecto	0,92	0,87	0,83	0,88	0,82	0,77	0,86	0,79	0,74	0,84	0,77	0,70	0,81	0,74	0,68	0,78	0,72	0,65

⁽¹⁾ Grado de contaminación: B = baja, M = media, A = alta

⁽²⁾ Índice del recinto $I_r = \frac{L \cdot A}{H \cdot (L + A)}$; siendo L = longitud recinto, A = anchura recinto y H = altura montaje luminarias

El grado de contaminación atmosférica referido en las tablas 3 y 4, corresponderá a las siguientes especificaciones:

1) Grado de contaminación alto

Existe en las proximidades actividades generadoras de humo y polvo con niveles elevados. Con frecuencia las luminarias se encuentran envueltas en penachos de humo y nubes de polvo, que comportará un ensuciamiento importante de la luminaria en un medio corrosivo y corresponderá, entre otras, a:

- Vías de tráfico rodado de muy alta intensidad de tráfico.
- Zonas expuestas al polvo, contaminación atmosférica elevada y, eventualmente, a compuestos corrosivos generados por la industria de producción o de transformación.
- Sectores sometidos a la influencia marítima.

2) Grado de contaminación medio

Hay en el entorno actividades generadoras de humo y polvo con niveles moderados con intensidad de tráfico media, compuesto de vehículos ligeros y pesados, y un nivel de partículas en el ambiente igual o inferior a 600 µg/m³, que supondrá un ensuciamiento intermedio o mediano de la luminaria y corresponderá, entre otras, a:

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES

ITC - EA - 06

- a) Vías urbanas o periurbanas sometidas a una intensidad de tráfico medio.
- b) Zonas residenciales, de actividad u ocio, con las mismas condiciones de tráfico de vehículos.
- c) Aparcamientos al aire libre de vehículos

3) Grado de contaminación bajo

Ausencia en las zonas circundantes de actividades generadoras de humo y polvo, con poca intensidad de tráfico casi exclusivamente ligero. El nivel de partículas en el ambiente es igual o inferior a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que corresponderá, entre otras, a:

- a) Vías residenciales no sometidas a un tráfico intenso de vehículos.
- b) Grandes espacios no sometidos a contaminación.
- c) Medio rural.

En el proyecto de alumbrado exterior, de acuerdo con los valores establecidos en las tablas 1, 2 y 3, se efectuará el cálculo del factor de mantenimiento (f_m), que servirá para determinar la iluminancia media inicial (E_i) en función de los valores de iluminancia media (E) en servicio con mantenimiento de la instalación establecidos en la ITC-EA-02 ($E_i = E/f_m$).

3. OPERACIONES DE MANTENIMIENTO Y SU REGISTRO

Para garantizar en el transcurso del tiempo el valor del factor de mantenimiento de la instalación, se realizarán las operaciones de reposición de lámparas y limpieza de luminarias con la periodicidad determinada por el cálculo del factor.

El titular de la instalación será el responsable de garantizar la ejecución del plan de mantenimiento de la instalación descrito en el proyecto o memoria técnica de diseño.

Las operaciones de mantenimiento relativas a la limpieza de las luminarias y a la sustitución de lámparas averiadas podrán ser realizadas directamente por el titular de la instalación o mediante subcontratación.

Las mediciones eléctricas y luminotécnicas incluidas en el plan de mantenimiento serán realizadas por un instalador autorizado en baja tensión, que deberá llevar un registro de operaciones de mantenimiento, en el que se reflejen los resultados de las tareas realizadas.

El registro podrá realizarse en un libro u hojas de trabajo o un sistema informatizado. En cualquiera de los casos, se numerarán correlativamente las operaciones de mantenimiento de la instalación de alumbrado exterior, debiendo figurar, como mínimo, la siguiente información:

- a) El titular de la instalación y la ubicación de ésta.
- b) El titular del mantenimiento.
- c) El número de orden de la operación de mantenimiento preventivo en la instalación.
- d) El número de orden de la operación de mantenimiento correctivo.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES	ITC – EA – 06
<p>e) La fecha de ejecución.</p> <p>f) Las operaciones realizadas y el personal que las realizó.</p> <p>Además, con objeto de facilitar la adopción de medidas de ahorro energético, se registrará:</p> <p>g) Consumo energético anual.</p> <p>h) Tiempos de encendido y apagado de los puntos de luz.</p> <p>i) Medida y valoración de la energía activa y reactiva consumida, con discriminación horaria y factor de potencia..</p> <p>j) Niveles de iluminación mantenidos.</p> <p>El registro de las operaciones de mantenimiento de cada instalación se hará por duplicado y se entregará una copia al titular de la instalación. Tales documentos deberán guardarse al menos durante cinco años, contados a partir de la fecha de ejecución de la correspondiente operación de mantenimiento.</p>		

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 07

Instrucción Técnica Complementaria EA-07

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

INDICE

1. OBJETO
2. COMPROBACIONES ANTES DE REALIZAR LAS MEDIDAS
 - 2.1 Condiciones de validez para las medidas
 - 2.2 Medida de Luminancias
 - 2.3 Medida de Iluminancias
 - 2.4 Comprobación de las Mediciones Luminotécnicas
3. MEDIDA DE LUMINANCIA
 - 3.1 Selección de la retícula de medida
 - 3.2 Posición del observador
 - 3.3 Área límite
4. MEDIDA DE ILUMINANCIA
 - 4.1 Selección de la retícula de medida
 - 4.2 Área límite
 - 4.3 Método simplificado de medida de la iluminancia media
5. MEDIDA DE ILUMINANCIA EN GLORIETAS
6. DESLUMBRAMIENTO PERTURBADOR
 - 6.1 Ángulo de apantallamiento
 - 6.2 Posición del observador
 - 6.3 Control de la limitación del deslumbramiento en glorietas
7. RELACIÓN ENTORNO SR
 - 7.1 Número y posición de los puntos de cálculo en el sentido longitudinal
 - 7.2 Número y posición de los puntos de cálculo en el sentido transversal

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	ITC – EA – 07
<p>1. OBJETO</p> <p>En la presente instrucción se describen las medidas luminotécnicas correspondientes a las verificaciones e inspecciones de las instalaciones de alumbrado exterior.</p> <p>2. COMPROBACIONES ANTES DE REALIZAR LAS MEDIDAS</p> <p><u>2.1 Condiciones de validez para las medidas</u></p> <p>a) Geometría de la instalación: los cálculos y medidas serán representativos para todas aquellas zonas que tengan la misma geometría en cuanto a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Distancia entre puntos de luz; - Altura de montaje de los puntos de luz que intervienen en la medida; - Longitud del brazo, saliente e inclinación; - Ancho de calzada; - Dimensiones de arcenes, medianas, etc. <p>b) Tensión de alimentación: durante la medida se registrará el valor de la tensión de alimentación mediante un voltímetro registrador o, en su defecto, se realizarán medidas de la tensión de alimentación cada 30 minutos. Si se miden desviaciones o variaciones en la tensión de alimentación respecto al valor asignado de la instalación que pudieran afectar significativamente al flujo luminoso emitido por las lámparas, se aplicarán las correcciones correspondientes. En caso de utilizar sistemas de regulación de flujo, la medición se llevará a cabo con los equipos a régimen nominal.</p> <p>c) Influencia de otras instalaciones: Todas las lámparas próximas a una instalación ajenas a la misma deberán apagarse en el momento de las medidas (incluidos los faros de los vehículos, en cualquiera de los sentidos de circulación).</p> <p>d) Condiciones meteorológicas: Aunque las exigencias de visibilidad son análogas para todas las condiciones meteorológicas, las medidas deben realizarse con tiempo seco y con los pavimentos limpios (salvo que se diseñe para pavimentos húmedos, de modo que las condiciones visuales no se deterioren notablemente durante los intervalos lluviosos). Además, no deben ejecutarse las medidas si la atmósfera no está completamente despejada de brumas o nieblas.</p> <p><u>2.2 Medida de Luminancias</u></p> <p>La medida de la luminancia media y las uniformidades deberán realizarse sobre el terreno, comparándose los resultados obtenidos en el cálculo incluido en el proyecto con los de la medida. La medida requiere un pavimento usado durante cierto tiempo, y un tramo recto de calzada de longitud aproximada de 250 m.</p> <p>a) Luminancias puntuales (L)</p> <p>La medida deberá hacerse con luminancímetro, con un medidor de ángulo no mayor de 2' en la vertical, y entre 6' y 20' en la horizontal.</p>		

00377 JTA

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	ITC - EA - 07
--	---	---------------

b) Luminancia media (L_m)

Para la medida de la luminancia media se utilizará un luminancímetro integrador, con limitadores de campo que correspondan a la superficie a medir: 100 m de longitud por el ancho de los carriles de circulación. El punto de observación estará situado a 60 m antes del límite anterior de la zona de medida, y el luminancímetro estará situado a 1,5 m de altura y a 1/4 del ancho de la calzada, medido desde el límite exterior en el último carril.

El método de referencia para comprobar la luminancia media dinámica consiste en hacer dos medidas con el luminancímetro integrador, una comenzando la zona de medida entre dos luminarias y otra coincidiendo con una de las luminarias (en el caso de una disposición tresbolillo, entre dos luminarias en diferentes carriles).

La media de estas dos medidas es una buena aproximación a la luminancia media dinámica.

2.3 Medida de Iluminancias

La medida se realizará con un iluminancímetro, también llamado luxómetro, que deberá cumplir las siguientes exigencias:

- a) Deberá tener un rango de medida adecuado, acorde a los niveles a medir y estar calibrado por un laboratorio acreditado
- b) Deberá disponer de corrección del coseno hasta un ángulo de 85°.
- c) Tendrá corrección cromática, según CIE 69:1987 de acuerdo con la distribución espectral de las fuentes luminosas empleadas y su respuesta se ajustará a la curva media de sensibilidad V (l).
- d) El coeficiente de error por temperatura deberá estar especificado para margen de las temperaturas de funcionamiento previstas durante su uso
- e) La fotocélula de luxómetro estará montada sobre un sistema que permita que ésta se mantenga horizontal en cualquier punto de medida.

Las medidas se realizarán sobre la capa de rodadura de la calzada, en los puntos determinados en la retícula de cálculo del proyecto. Todas las luminarias que intervienen en la medida y forman parte de la instalación de alumbrado, deben estar libres de obstáculos y podrán verse desde la fotocélula.

Una reducción de la retícula de medida, con respecto a la de cálculo, será admisible cuando no modifique los valores mínimos, máximos y medios en ± 5 %

2.4 Comprobación de las Mediciones Luminotécnicas

Los valores medios de las magnitudes medidas no diferirán más de un 10% respecto a los valores de cálculo de proyecto.

3. MEDIDA DE LUMINANCIA

La luminancia en un punto de la calzada se obtiene mediante la fórmula:

$$L = \Sigma (I \cdot r/h^2),$$

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	ITC - EA - 07
--	---	---------------

donde el sumatorio (Σ) comprende todas las luminarias de la instalación considerada. Los valores de la intensidad luminosa (I) y del coeficiente de luminancia reducido (r) se obtienen por interpolación cuadrática en la matriz de intensidades de la luminaria y en la tabla de reflexión del pavimento. Por último, la variable (h) es la altura de la luminaria.

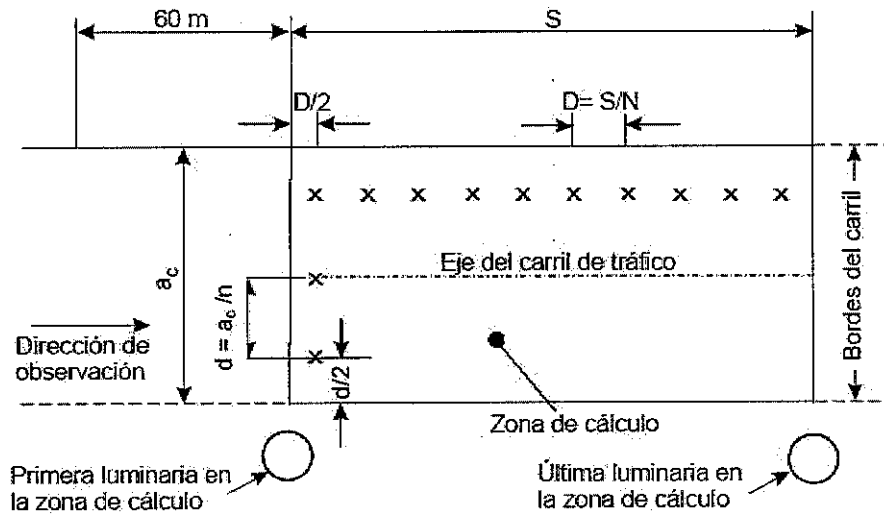
Una vez finalizada la instalación del alumbrado exterior, se procederá a efectuar las mediciones luminotécnicas, al objeto de comprobar los resultados del proyecto. La retícula de medida que se concreta más adelante es la que se utilizará en las medidas de campo. No obstante, podrán utilizarse otras retículas en el cálculo del proyecto siempre que incorporen un mayor número de puntos.

3.1 Selección de la retícula de medida

La retícula de medida es el conjunto de puntos en los que en el proyecto se calcularán los valores de luminancia. En sentido longitudinal, la retícula cubrirá el tramo de calzada comprendido entre dos luminarias consecutivas del mismo lado. En sentido transversal, deberá abarcar el ancho definido para el área de referencia (normalmente la anchura del carril de tráfico), tal y como se representa en la figura 1.

Los puntos de medida se dispondrán, uniformemente separados, como muestra la figura 1, siendo su separación longitudinal D , no superior a 5 m, y su separación transversal d , no superior a 1,5 m. El número mínimo de puntos en la dirección longitudinal N , o transversal n , será de 3.

Figura 1 – Posición de los puntos de medida en un carril de tráfico.



- S = separación entre dos puntos de luz, en la misma fila
- X = puntos de medida de la luminancia
- a_c = anchura del carril
- D = distancia en la dirección longitudinal entre dos puntos de medida contiguos
- d = distancia en la dirección transversal entre dos puntos de medida contiguos

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

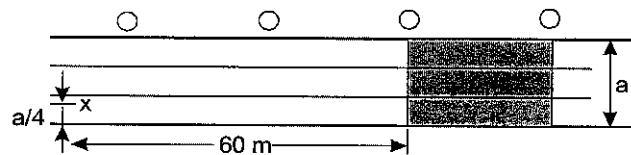
ITC - EA - 07

3.2 Posición del observador

El observador se colocará a 1,5 m de altura sobre la superficie de la calzada y en sentido longitudinal, a 60 m de la primera línea transversal de puntos de cálculo. En sentido transversal se situará a:

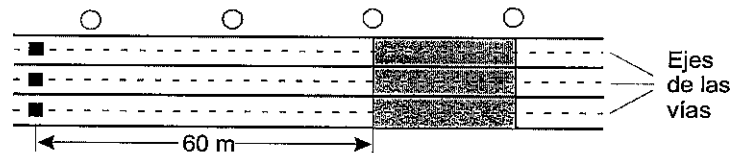
- a) 1/4 de ancho total de la calzada, medido desde el borde derecho de la misma (lado opuesto al de los puntos de luz en implantación unilateral), para la medida de la luminancia media L_m y de la uniformidad global U_0 y

Figura 2 – Posición del observador para medida de L_m y U_0



- b) en el centro de cada uno de los carriles del sentido considerado Para la medida de la uniformidad longitudinal U_l , para cada sentido de circulación.

Figura 3 – Posiciones del observador para medida de U_l



3.3 Área límite

Con el fin de evitar el efecto de otras instalaciones de alumbrado en los valores medidos de luminancia de una instalación, se establece un área límite dentro de la cual, deberá apagarse durante la medida cualquier luminaria que no pertenezca a dicha instalación.

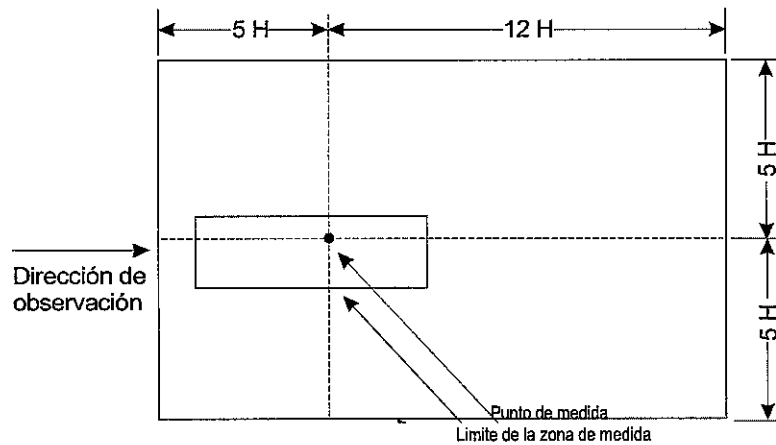
La figura 4 refleja el área límite citada anteriormente, siendo H la altura de montaje de las luminarias de la instalación considerada.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 07

Figura 4 – Área límite de las luminarias que pueden contribuir a la luminancia en el punto de medida



4. MEDIDA DE ILUMINANCIA

La iluminancia horizontal en un punto de la calzada se expresa mediante:

$$E = \sum (I \cdot \cos^3 \gamma / h^2)$$

Siendo, I la intensidad luminosa, γ el ángulo formado por la dirección de incidencia en el punto con la vertical y h la altura de la luminaria. El sumatorio (Σ) comprende todas las luminarias de la instalación.

4.1 Selección de la retícula de medida

La retícula de medida es el conjunto de puntos en los que en el proyecto se calcularán los valores de iluminancia. En sentido longitudinal, la retícula cubrirá el tramo de superficie iluminada comprendido entre dos luminarias consecutivas. En sentido transversal, deberá abarcar el ancho de área aplicable, tal y como se representa en la figura 5.

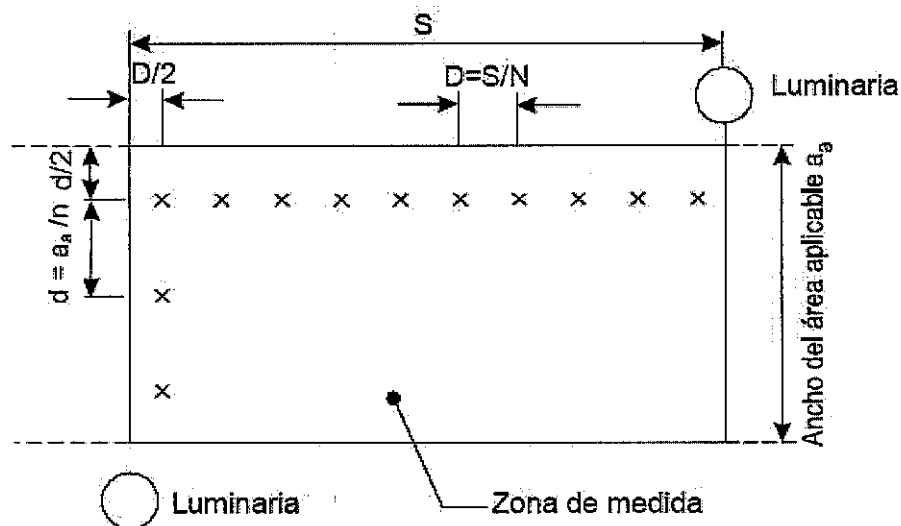
Los puntos de medida se dispondrán, uniformemente separados y cubriendo todo el área aplicable, como muestra la figura 5, siendo su separación longitudinal D, no superior a 3 m, y su separación transversal d, no superior a 1 m. El número mínimo de puntos en la dirección longitudinal N será de 3.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 07

Figura 5 - Puntos de medida para la iluminancia



S = separación entre dos puntos de luz consecutivos

X = puntos de medida de la iluminancia

a_a = ancho del área aplicable

n = número de puntos de medida en la dirección transversal

N = número de puntos de medida en la dirección longitudinal

D = distancia en la dirección longitudinal entre dos puntos de medida contiguos

d = distancia en la dirección transversal entre dos puntos de medida contiguos

4.2 Área límite

Con el fin de evitar el efecto de otras instalaciones de alumbrado en los valores medidos de iluminancia de una instalación, se establece un área límite dentro de la cual, deberá apagarse durante la medida, cualquier luminaria que no pertenezca a dicha instalación.

El área límite a considerar está definida por una distancia al punto de medida de 5 veces la altura de montaje H de las luminarias de la instalación considerada.

4.3 Método simplificado de medida de la iluminancia media

El método denominado de los "nueve puntos" permite determinar de forma simplificada, la iluminancia media (E_m), así como también las uniformidades media (U_m) y general (U_g).

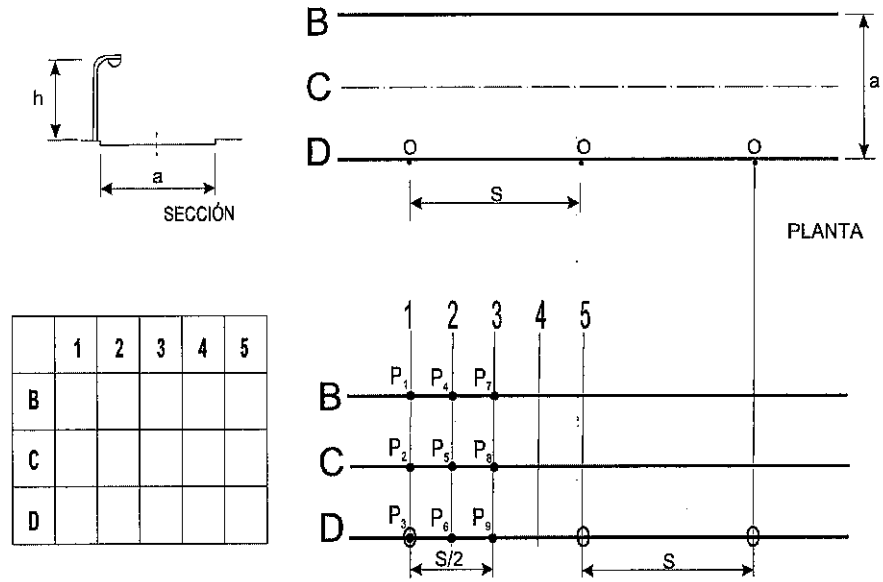
00380

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	ITC - EA - 07
--	---	---------------

A partir de la medición de la iluminancia en quince puntos de la calzada (véase fig. 6), se determinará la iluminancia media horizontal (E_m) mediante una media ponderada, de acuerdo con el denominado método de los "nueve puntos".

Mediante el luxómetro se mide la iluminancia en los quince puntos resultantes de la intersección de las abscisas B, C, D, con las ordenadas 1, 2, 3, 4 y 5, de la figura 6.

Fig. 6 - Determinación de la iluminancia media y uniformidades mediante el método de los nueve puntos.



Teniendo en cuenta una eventual inclinación de las luminarias hacia un lado u otro, se debe adoptar como medida real de la iluminancia en el punto teórico P_1 la media aritmética de las medidas obtenidas en los puntos B1 y B5 y así sucesivamente, tal y como consta en la tabla que se adjunta más adelante.

La iluminancia media es la siguiente:

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 07

Donde:

$$E_1 = (B1 + B5) / 2$$

$$E_2 = (C1 + C5) / 2$$

$$E_3 = (D1 + D5) / 2$$

$$E_4 = (B2 + B4) / 2$$

$$E_5 = (C2 + C4) / 2$$

$$E_6 = (D2 + D4) / 2$$

$$E_7 = B3$$

$$E_8 = C3$$

$$E_9 = D3$$

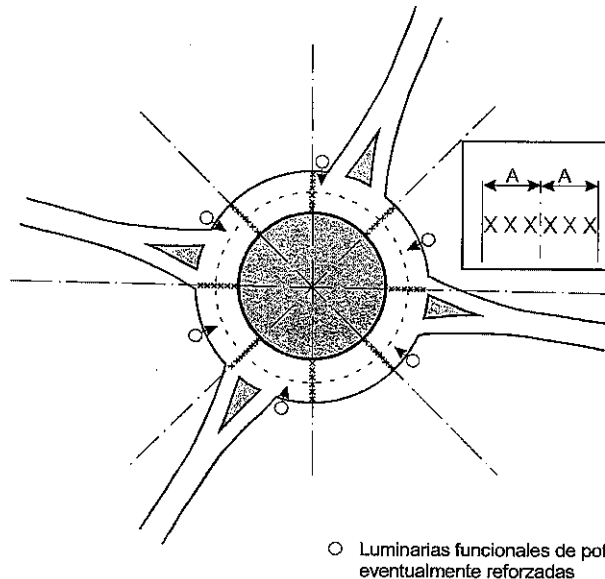
La uniformidad media (U_m) de iluminancia es el cociente entre el valor mínimo de las iluminancias E_i calculadas anteriormente y la iluminancia media (E_m).

La uniformidad general o extrema (U_g) se calcula dividiendo el valor mínimo de de las iluminancias E_i entre el valor máximo de dichas iluminancias.

5. MEDIDA DE ILUMINANCIA EN GLORIETAS

La retícula de medida se representa en la figura 7 y parte de 8 radios que tienen su origen en el centro de la glorieta, formando un ángulo entre ellos de 45° . El origen angular de los radios se elige arbitrariamente con independencia de la implantación de las luminarias.

Figura 7 - Retícula de cálculo y mediciones en glorietas



MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC – EA – 07

El número de puntos de cálculo de cada uno de los 8 radios es función del número de carriles de tráfico del anillo de la glorieta, a razón de 3 puntos por carril de anchura (A), tal y como se representa en la figura 7.

En el caso de una implantación simétrica, el número de radios a considerar se podrá reducir a 2 consecutivos, que cubran un cuarto de la glorieta.

Cualquiera que sea el tipo de implantación de los puntos de luz -periférica o central-, exista simetría o no, la iluminancia media horizontal (E_m) del anillo de la glorieta será la media aritmética de las iluminancias (E_i) calculadas o medidas en los diferentes puntos de la retícula:

$$E_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} E_i$$

La uniformidad media de iluminancia horizontal del citado anillo de la glorieta será el cociente entre el valor más pequeño de la iluminancia puntual (E_i) y la iluminancia media (E_m).

6. DESLUMBRAMIENTO PERTURBADOR

Se basa en el cálculo de la luminancia de velo:

$$L_v = 10 \cdot \sum (E_g / \theta^2) \text{ (en cd/m}^2\text{)}$$

donde E_g (lux) es la iluminancia producida en el ojo en un plano perpendicular a la línea de visión, y θ (grados) es el ángulo entre la dirección de incidencia de la luz en el ojo y la dirección de observación. El sumatorio (Σ) está extendido a todas las luminarias de la instalación.

Se considera que contribuyen al deslumbramiento perturbador todas las luminarias que se encuentren a menos de 500 m de distancia del observador (véase fig. 8).

Para el cálculo de la luminancia de velo para cada hilera de luminarias, se comienza por la más cercana, alejándose progresivamente y acumulando las luminancias de velo producidas por cada una de ellas, hasta que su contribución individual sea inferior al 2% de la acumulada, y como máximo hasta las luminarias situadas a 500 m del observador. Finalmente, se sumarán las luminancias de velo de todas las hileras de luminarias.

El incremento del umbral de percepción se calcula según la expresión:

$$TI = 65 \cdot \frac{L_v}{(L_m)^{0,8}} \text{ (en \%)}$$

que es una fórmula válida para luminancias medias de calzada (L_m) entre 0,05 y 5 cd/m².

6.1 Ángulo de apantallamiento

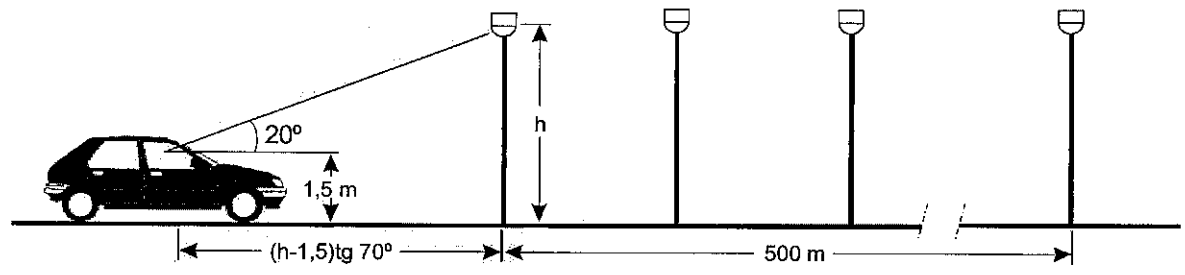
A efectos de cálculo del deslumbramiento perturbador en alumbrado vial, no se considerarán las luminarias cuya dirección de observación forme un ángulo mayor de 20° con la línea de visión, ya que se suponen apantalladas por el techo del vehículo, tal y como se representa en la figura 8.

MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 07

Figura 8 - Luminancia que se tiene en cuenta para el cálculo del deslumbramiento perturbador.



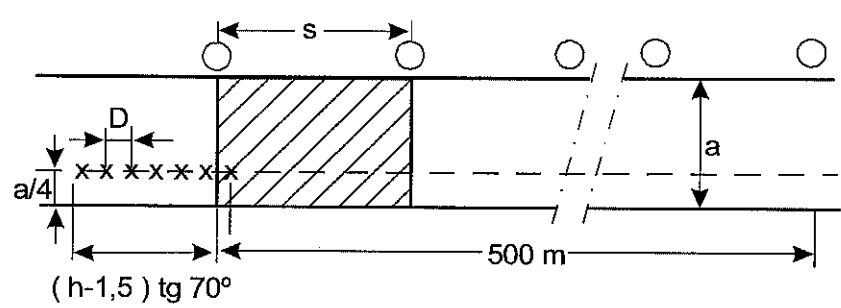
6.2 Posición del observador

La posición del observador se definirá tanto en altura como en dirección longitudinal y transversal a la dirección de las luminarias:

- a) El observador se colocará a 1,5 m de altura sobre la superficie de la calzada
- b) en dirección longitudinal, de forma tal que la luminaria más cercana a considerar se encuentre formando exactamente 20° con la línea de visión, es decir a una distancia igual a $(h-1,5) \operatorname{tg} 70^\circ$. En el caso de disposiciones al trespelillo, se efectuarán dos cálculos diferentes (con la primera luminaria de cada lado formando 20°) y se considerará para los cálculos, el mayor valor de los dos.
- c) En dirección transversal se situará a $1/4$ de ancho total de la calzada, medido desde el borde derecho de la misma.

A partir de esta posición se calcula la suma de las luminancias de velo producidas por la primera luminaria en la dirección de observación y las luminarias siguientes hasta una distancia de 500 m.

Figura 9 - Posiciones del observador para el cálculo del deslumbramiento perturbador



- Luminarias a tener en cuenta para el cálculo de L_v
- x Posiciones del observador

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	ITC - EA - 07
--	---	---------------

6.3 Control de la limitación del deslumbramiento en glorietas

En el caso de glorietas no se puede evaluar el deslumbramiento perturbador (incremento de umbral TI), dado que el anillo de una rotonda no es un tramo recto de longitud suficiente para poder situar al observador y medir luminancias en la calzada.

El índice GR puede utilizarse igual que se aplica en la iluminación de otras instalaciones de alumbrado de la ITC-EA-02.

Conviene definir una o varias posiciones del conductor de un vehículo que circula por una vía que afluye a la glorieta en posición lejana y próxima, incluso en el propio anillo.

Preferentemente se considerarán dos posiciones de observación representadas en las figuras 10 y 11, con una altura de observación de 1,50 m.

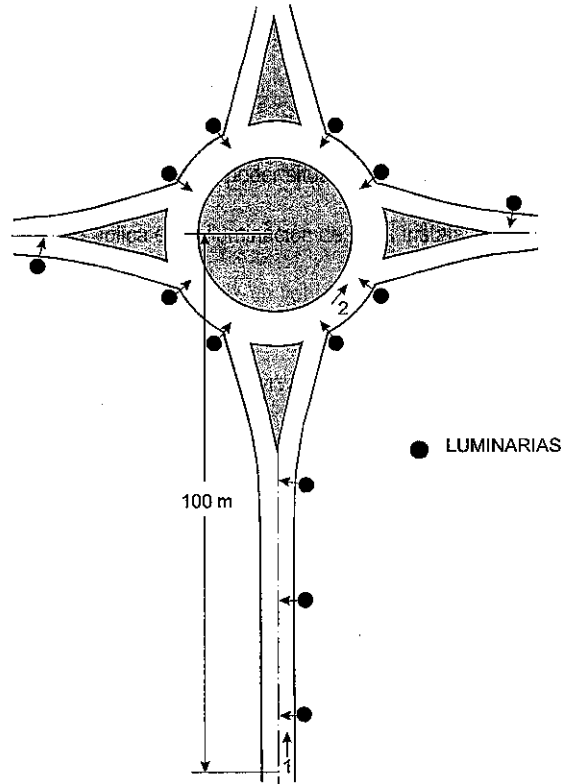
- Posición 1

Sobre una vía de tráfico que afluye a la glorieta, y el observador mirando el centro de la isleta.

- Posición 2

Sobre el anillo que rodea la isleta central, con dirección de la mirada tangencial al anillo.

Figura 10 – Posiciones de observación en glorietas iluminadas perimetralmente

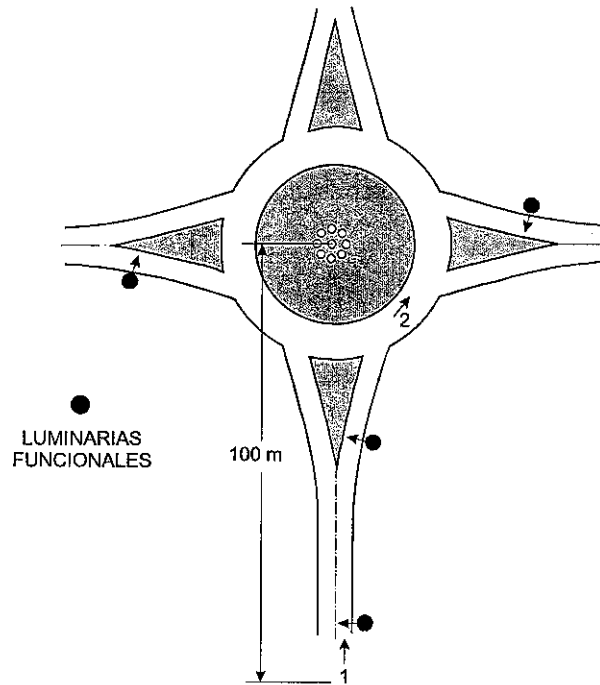


MINISTERIO DE
INDUSTRIA TURISMO
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 07

Figura 11 - Posiciones de observación en glorietas iluminadas centralmente

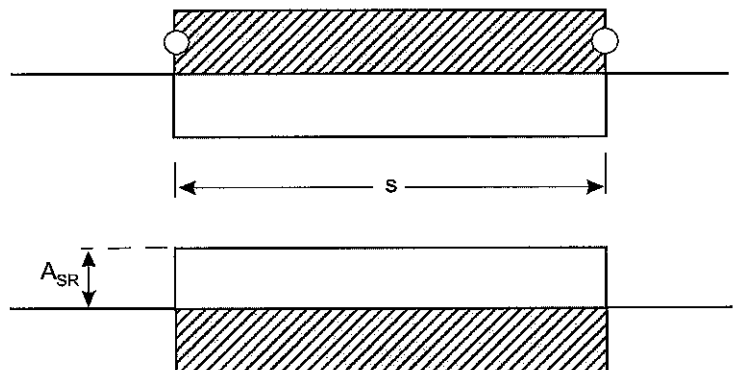


MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	ITC - EA - 07
--	---	---------------

7. RELACIÓN ENTORNO SR

Para calcular la relación entorno (SR), es necesario definir 4 zonas de cálculo de forma rectangular situadas a ambos lados de los dos bordes de la calzada, tal y como se representa en la figura 12.

Figura 12 – Definición de las 4 zonas de cálculo utilizadas para la determinación de la relación entorno (SR).



- ZONAS SITUADAS SOBRE LA CALZADA
- ZONAS SITUADAS FUERA DE LA CALZADA
- LUMINARIAS

A cada lado de la calzada, se calcula la relación entre la iluminancia media de la zona situada en el exterior de la calzada y la iluminancia media de la zona adyacente situada sobre la calzada. La relación entorno SR es la más pequeña de las dos relaciones.

La anchura (A_{SR}) de cada una de las zonas de cálculo se tomará como 5 m o la mitad de la anchura de la calzada, si ésta es inferior a 10 m.

Si los bordes de la calzada están obstruidos, se limitará el cálculo a la parte de los bordes que están despejados.

En presencia, por ejemplo, de una banda de parada de urgencia, o de un arcén que bordea la calzada, se tomará para (A_{SR}) la anchura de este espacio.

La longitud de las zonas de cálculo de la relación entorno (SR) es igual a la separación (S) entre puntos de luz.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO
--

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC - EA - 07

7.1 Número y posición de los puntos de cálculo en el sentido longitudinal

El número (N) de puntos de cálculo y la separación (D) entre dos puntos sucesivos, se determinan de igual forma a la establecida para el cálculo de luminancias e iluminancias de la calzada.

Los puntos exteriores de la malla están separados, respecto a los bordes de la zona de cálculo, por una distancia (D/2) en el sentido transversal.

7.2 Número y posición de los puntos de cálculo en el sentido transversal

El número de puntos de cálculo será $n=3$ si $A_{SR} > 2,5$ m y $n=1$ en caso contrario. La separación (d) entre dos puntos sucesivos, se calculará en función la anchura (A_{SR}) de la zona de cálculo, como:

$$d = 2 \frac{A_{SR}}{n}$$

Las líneas transversales extremas de los puntos de cálculo estarán separadas una distancia (d/2), de la primera y última luminaria, respectivamente.



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS

**RESUMEN DE RECOMENDACIONES
PARA LA ILUMINACIÓN DE
INSTALACIONES DE EXTERIORES
O EN RECINTOS ABIERTOS.**

OFICINA TÉCNICA PARA LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO
www.iac.es/proyecto/otpc

**REVISIÓN:
ENERO – 2.008**

ÍNDICE

ÚLTIMA
REVISIÓN

<input type="checkbox"/> RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA INSTALACION DE ALUMBRADO DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL USO RACIONAL DE LA ENERGIA Y PROTECCION DEL PAISAJE Y FAUNA NOCTURNA.....	Pag. 2 Junio 2.007
<input type="checkbox"/> RECOMEDANCIONES PARA LA LIMITACION DE LA LUZ INTRUSA.....	Pag. 4 Junio 2.003
<input type="checkbox"/> ALUMBRADO DE ZONAS PEATONALES.....	Pag. 5 Junio 2.007
<input type="checkbox"/> NORMA EN-13201 PARA LA ILUMINACION DE CARRETERAS Y PEATONALES.....	Pag. 6 Junio 2.007
<input type="checkbox"/> TABLA DE FACTORES DE DEPRECIACION DE LAS LUMINARIAS.....	Pag. 9 Junio 2.007
<input type="checkbox"/> NIVELES RECOMENDADOS EN CARTELES Y ANUNCIOS LUMINOSOS.....	Pag. 10 Junio 2.007
<input type="checkbox"/> NIVELES RECOMENDADOS PARA LA ILUMINACION DE FACHADAS Y MONUMENTOS.....	Pag. 13 Junio 2.007
<input type="checkbox"/> GUIA PARA EL ALUMBRADO DE AREAS DE TRABAJO EXTERIORES.....	Pag. 16 Octu. 2.000
<input type="checkbox"/> ALUMBRADOS Y NOTAS DE INTERÉS (estaciones de servicio, zonas comerciales, fachadas edificios privados)	Pag. 36 Octu. 2.003
<input type="checkbox"/> ILUMINACIÓN DE INSTALACIONES DEPORTIVAS. Consultar Norma UNE-EN 12193 (35 páginas, Noviembre 2.000, AENOR 43749:2000).	Pag. 37 Nov. 2.000



RECOMENDACIONES GENERALES PARA INSTALACIONES DE ALUMBRADO DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA Y DE PROTECCIÓN DEL PAISAJE Y FAUNA NOCTURNA.

1) Evitar la emisión de luz directa hacia el cielo:

- Usar luminarias con reflector y cierres transparentes, preferentemente de vidrio plano o semicurvo. No inclinar las luminarias más de 10° para vidrios planos ó 5° para el resto.
- Usar luminarias certificadas por el IAC con un porcentaje de emisión al hemisferio superior instalado inferior al 2% (máximo del 5%) respecto al flujo total saliente de la luminaria.
- Usar proyectores para alumbrado de superficies horizontales de forma que la intensidad máxima de luz en o sobre el horizonte no supere las 10 cd/Klúmen ó 2500 cd a partir de los 10° bajo el horizonte hacia arriba (a partir de gamma 80°).
- Procurar usar proyectores asimétricos, con asimetrías adecuadas, sin inclinación (Máximo 10°) o simétricos con rejillas antideslumbrantes o deflectores.
- Evitar apuntamientos (dirección de la intensidad máxima) de proyectores con ángulos superiores a 70° . (Ello evita deslumbramiento a usuarios y vecinos).

2) Evitar los excesos de iluminación y luminancia y de forma que su distribución fotométrica se adapte eficazmente a nuestra instalación.

- Seguir, por este orden, Reglamentos, Normas europeas, recomendaciones del Ministerio de Fomento, Comité Español de Iluminación y Comité Internacional de iluminación para establecer los niveles necesarios para iluminación de espacios, edificios, monumentos y letreros públicos y privados. Usar otras recomendaciones publicadas por fabricantes u otras instituciones de prestigio en los demás casos que no se especifiquen en las anteriores recomendaciones. Considerar los valores de estos documentos como valores objetivo a conseguir.
- Estudiar la reducción de los niveles de iluminación o incluso el apagado de la instalación a partir de ciertas horas de la noche si la actividad o premisa que indujo su instalación cambiase de requisitos luminotécnicos (Ejemplo de alumbrado Comercial a Seguridad, reducción de la intensidad de tráfico, alumbrado de edificios y monumentos, carteles luminosos, etc.).
- Utilizar ópticas con luminarias de alto rendimiento y cuyo haz luminoso se adapte a la superficie a iluminar de forma que se ilumine solo lo necesario y el diseño tenga un alto factor de utilización ($K > 0,3$)



- No justificar excesos de iluminación en nuevas instalaciones porque las existentes vecinas fueron proyectadas con exceso, estas deben ser corregidas antes de una nueva intervención. Debe evitarse la competencia y el deseo de destacar instalaciones respecto a otras utilizando niveles luminotécnicos exagerados, lo cual solo lleva a una escalada incontrolada de consumos energéticos innecesarios debido al comportamiento del ojo humano. Por tal razón, las actuaciones públicas y privadas debe considerarse globalmente en los entornos a iluminar.
- No proyectar con exagerados niveles de iluminación en zonas socialmente conflictivas. Hay estudios que indican que los excesos de iluminación y especialmente el deslumbramiento incrementan el vandalismo. En el mejor de los casos sólo se consigue trasladar el problema a otra zona.

3) Procurar el uso de lámparas de vapor de sodio.

- Cuando el rendimiento cromático referido para una instalación no sea un objetivo primordial, utilizar como primer objetivo lámparas cuyo conjunto lámpara/luminaria ofrecen la iluminación más eficiente en $W/m^2/lux$ (W =vatios reales instalados en la superficie de " m^2 " metros cuadrados útiles y " lux "=nivel medio en lux en dicha superficie), sin olvidar el costo de la reposición y duración de las lámparas.
- Estudios hasta el año 2.002 indican que las lámparas con radiaciones ultravioleta (mercurio alta presión) atraen hasta tres veces más insectos que las de vapor de sodio, produciendo reducciones en la biodiversidad de los entornos naturales situados a menos de 1km de distancia.
- Igualmente, existe una clara relación entre la reducción de melatonina en el cuerpo humano cuando es expuesto durante la noche a lámparas con radiación ultravioleta (su carencia durante la noche se asocia a la aparición de enfermedades como el cáncer cuando se está expuesto varias horas por la noche y de forma rutinaria). La luz ultravioleta (446-484nm) es la encargada de regular el ciclo circadiano de los seres vivos en la Tierra.



RECOMENDACIONES PARA LA LIMITACION DE LA LUZ INTRUSA

Publicación CIE 150 – 2003 "Guía para la limitación de los efectos de la luz intrusa producida por las instalaciones de alumbrado exterior"

Los máximos valores permisibles recomendados de luminancia vertical (E_v) en las fachadas de los edificios o propiedades producida por instalaciones de alumbrado exterior se indican en la siguiente tabla atendiendo a una zonificación del territorio:

PARAMETRO LUMINOTECNICO	CONDICION DE APLICACION	E1	E2	E3	E4
Iluminancia en un plano vertical (E_v) lux	Aplicable a planos verticales de los límites de la propiedad privada a la altura donde pueda haber una potencial afección del edificio (ventanas).	De 06:00h a 22:00 h 2	5	10	25
	Los valores dados corresponden a la componente directa de la iluminación.	De 22:00h a 06:00 h 0*	1	2	5
Intensidad luminosa emitida por las luminarias (I) en candelas (cd)	Los límites se aplican a cada luminaria en las direcciones donde puede existir problemas de brillo en el campo de visión de los ciudadanos de manera más o menos constante.	De 06:00h a 22:00 h 2500 cd	7500 cd	10000 cd	25000 cd
		De 22:00h a 06:00 h 0* cd	500 cd	1000 cd	2500 cd

*Nota: Si la luminaria es para alumbrado público (calle) este valor puede llegar hasta 1 lux y 500cd, respectivamente.

E1: Zonas oscuras: Parques nacionales, áreas de singular belleza natural.

E2: Areas de bajo brillo: Zonas fuera del perímetro urbano, zonas urbanas rurales.

E3: Areas de brillo medio: Zonas urbanas residenciales.

E4: Areas de brillo alto: Zonas urbanas con uso comercial o mixto residencial/comercial con elevada actividad nocturna.

El valor máximo de incremento de umbral (deslumbramiento) recomendado para todo tipo de carreteras es de $TI \leq 15\%$.



ALUMBRADO DE ZONAS PEATONALES

La siguiente tabla ha sido confeccionada partiendo de la publicación CIE-115-1995 "Recomendaciones para el alumbrado de calzadas de tráfico motorizado y peatonal".

También se ha introducido parte de la publicación CIE-136-2000 "Guía para la iluminación de zonas urbanas" para simplificar la labor del diseñador.

	E_H media	E_H min	E_{sc} min
P1	20	7,5	5
P2	10	3	2
P3	7,5	1,5	1,5
P4	5	1	1

NOTA: El diseñador debe tener en cuenta las peculiaridades de la instalación a efectos de elegir la clase de alumbrado adecuada así como prever sistemas de reducción de consumo en aquellos casos que cambie el uso o necesidades del alumbrado a una clase inferior temporalmente durante la noche.

De acuerdo con la recomendación CIE-136 debe limitarse el brillo de la luminaria para evitar deslumbramiento con los siguientes valores máximos en función de la altura de instalación de la luminaria (en general todas las luminarias certificadas por el IAC tienen valores inferiores).

ALTURA	$LA^{0.25}$
Hasta 4.5 m.	6000
Entre 4.5 y 6 m.	8000
Mas de 6 m.	10000

NOMENCLATURA:

E_H media: Iluminancia media horizontal a nivel del suelo.

E_H min: Iluminancia mínima horizontal a nivel del suelo.

E_{sc} min: Iluminancia local mínima semicilíndrica a una altura de 1.5 metros sobre el nivel del suelo.

$LA^{0.25}$: Valor del brillo para alturas de soporte inferior a 7 metros.

L: Luminancia media de la luminaria (cd/m^2) en la dirección γ entre 85° y 90°

A: Area de la superficie emisora de luz de la luminaria (m^2) en $\gamma 90^\circ$ (suministrado por el fabricante).

P1	<ul style="list-style-type: none"> Calzadas de alto prestigio Centros municipales o urbanos con tráfico motorizado Calles comerciales con tráfico motorizado.
P2	<ul style="list-style-type: none"> Uso nocturno intenso por peatones o ciclistas Centros municipales o urbanos totalmente peatonales. Soportes y pasadizos (E_{sc} min = 10) Calles comerciales totalmente peatonales Centro de pueblos con tráfico motorizado
P3	<ul style="list-style-type: none"> Uso nocturno moderado por peatones o ciclistas Centro de pueblos totalmente peatonales Zonas residenciales de alta utilización (zona de reunión, parques infantiles, etc.) E_H min ≥ 4 lux
P4	<ul style="list-style-type: none"> Uso nocturno menor por ciclistas o peatones únicamente asociados con propiedades adyacentes Zonas residenciales de media utilización. Parques en áreas residenciales. Calles residenciales con predominio de uso peatonal Zonas industriales con predominio del uso peatonal

Paso de peatones en vías motorizadas: valores 1,5 veces superiores a los de la vía.
 Existe Norma europea que regula estos niveles EN-13201 y Reglamento RD.314/2006 SU 4.1. Ver en este cuaderno.



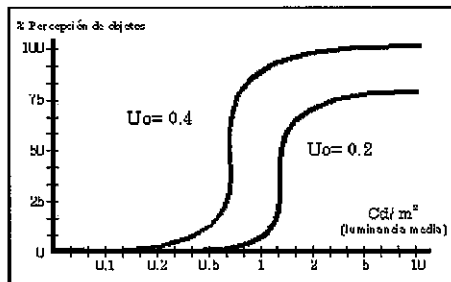
00387

GUÍA PRÁCTICA DE NIVELES DE ALUMBRADO EN CASOS TÍPICOS EN TENERIFE Y LA PALMA A PARTIR DE LAS 24:00h SEGÚN NORMA EN-13201:

TIPO	TIPO DE VÍA Y USO	CLASE	LUMINANCIA cd/m ²			LUMINANCIA lux				
			MEDIA	MAX.	U ₀	CLASE	MEDIA	MAX.	U ₀	
A2	Autopistas y autovías. Complejidad visual alta.	ME2 (≥ 3 salidas/km)	1,5	2,3	≥ 0,4	CE2	20	50	≥ 0,4	
	Autopistas y autovías. Complejidad visual normal.	ME3b (<3 salidas/km)	1	1,5	≥ 0,4	CE3	15	40	≥ 0,4	
A3	Carreteras rápidas con peatones.	ME2	1,5	2,3	≥ 0,4	CE2	20	50	≥ 0,4	
	Carreteras generales por núcleos urbanos.	ME3b	1	1,5	≥ 0,4	CE3	15	40	≥ 0,4	
	Caminos rurales.	ME4	0,75	1,1	≥ 0,4	CE4	10	25	≥ 0,4	
B1	Calles principales en ciudades.	ME3C	1	1,5	≥ 0,4	CE3	15	40	≥ 0,4	
B2	Arterias urbanas.	ME3C	1	1,5	≥ 0,4	CE3	15	40	≥ 0,4	
D3	Calles residenciales con vehículos.	ME2-Turístico	1,5	2,3	≥ 0,4	CE2	20	50	≥ 0,4	
		ME3-Comercial	1	1,5	≥ 0,4	CE3	15	40	≥ 0,4	
		ME4-Normal	0,75	1,1	≥ 0,4	CE4	10	25	≥ 0,4	
D4	Calles peatonales con algún vehículos y/o bicicletas.	S3	-	-	-	S3	7,5	20	≥ 0,2	
E1	Calles solo peatonales	Alta densidad y riesgo de delincuencia	S1-Turístico	-	-	-	S1	15	40	≥ 0,3
		Alta densidad Peatonal	S3-Comercial	-	-	-	S3	7,5	20	≥ 0,2
			S4-Normal	-	-	-	S4	5	13	≥ 0,2
S/N	Plazas Urbanas (CIE-115/136)	P2	-	-	-	P2	10	3	≥ 0,4	
S/N	Exterior de edificios (RD 314/2006 SU 4.1)	Vehículos y mixtos.	-	-	-	-	10	25	≥ 0,4	
		Escaleras	-	-	-	-	10	25	≥ 0,4	
		Resto de áreas peatonales	-	-	-	-	5	13	≥ 0,4	

MAX.= Luminancia o iluminancia puntual máxima. **U₀** =luminancia mín./ luminancia media. Factor depreciación ≥0.75

- Los niveles mantenidos son objetivos a conseguir y son valores máximos con un margen máximo de variación del 30% en las iluminancias (10% en luminancias) a los efectos de la Ley 31/1988 (minimización de su impacto). Antes de las 24:00 horas pueden aumentarse hasta un 60% su nivel si dispone del dispositivo adecuado que garantice su reducción al valor mínimo mantenido. Para vías de trazados complicados y de difícil visibilidad debe consultarse la Norma
- En los cruces se recomienda aumentar estos niveles en un 30% y en curvas reducir la interdistancia en un 20% respecto al tramo recto.
- El tipo de asfalto considerado para las luminancias es el R₃ con q₀= 0.06, y el observador a 60 m. y a 1.5 m. de altura.
- Recordemos que es importante mantener U₀ ≥ 0.4 para obtener un alto porcentaje de percepción de los objetos en la calzada:



Ejemplo gráfico en el que se observa la relación entre la Percepción de los objetos, la Luminancia media y la Uniformidad.
Nota: T_i = 7%

Distribución recomendada en función de: altura de luminaria = h
ancho de calzada = W
Unilateral: W ≤ h ≤ 3/2 W
Tresbolillo: 2/3 W ≤ h < W
Apareado oposición: 2/5 W ≤ h < 2/3 W

- Los parámetros de calidad recomendados para garantizar la seguridad vial son:
En iluminancia (lux): **U_g ≥ 50%** (media) y **U_e ≥ 30%** (extrema)
En luminancia: **U₀ ≥ 60%** (media), **U_l ≥ 70%** (longitudinal) y **T_i < 10%**.

NOTA: Ver en anexo siguiente las tablas de la Norma EN13201 para el resto de parámetros.
Cálculos en vías peatonales de ancho "a" se calcula con un ancho de 2+a+2 metros si no hay obstáculos.

00387 VTA



ANEXO TABLAS NORMA UNE EN-13201

TABLA SERIE ME DE CLASES DE ALUMBRADO

Clase	Luminancia de la superficie de la calzada para el estado seco de la superficie de la calzada			Deslumbramiento incapacitivo	Alumbrado de alrededores
	\bar{L} en cd/m^2 [mínima mantenida]	U_0 [mínima]	U_l [mínima]	TI en % ^a [máximo]	SR ^b [mínima]
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	No hay requisitos

^a Un aumento de 5 puntos de porcentaje en TI puede ser permitido cuando se usan fuentes de luz de baja luminancia (véase la nota 5)

^b Este criterio puede ser aplicado solo cuando no hay áreas de tráfico con sus propios requisitos junto a la calzada

NOTA 1 - La luminancia de la superficie de la calzada es el resultado de la iluminación de la superficie de la calzada, las propiedades de reflexión de la superficie de la calzada y las condiciones geométricas de observación. Se han dado acuerdos en las Normas EN13201-3 y en EN 13201-4, destinados a la circulación a lo largo del tramos de vía pública con distancias de visión de entre 60 y 180 m.

NOTA 2 - La luminancia media (L) refleja el nivel de luminancia general al que circula el conductor. Al bajo nivel de alumbrado usado para el alumbrado viario, las prestaciones mejoran con la luminancia en términos de aumentar la sensibilidad al contraste, aumentar la agudeza visual y mejorar el deslumbramiento.

NOTA 3 - La uniformidad global (U_0) mide de modo general la variación de luminancias e indica cómo sirve la superficie de la calzada como fondo para las marcas de la vía pública, objetos y otros usuarios de la vía pública.

NOTA 4 - La uniformidad longitudinal (U_l) proporciona una medida de la visibilidad por la repetición de manchas brillantes y oscuras en la calzada. Se refiere a condiciones visuales en secciones de vía pública largas sin interrupciones.

NOTA 5 - El incremento de umbral (TI) indica que aunque el alumbrado viario mejora las condiciones visuales también causa deslumbramiento incapacitivo en un grado que depende del tipo de luminarias, lámparas y situación geométrica. Las lámparas de sodio de baja presión y tubos fluorescentes son considerados normalmente como Lámparas de baja luminancia. Para estas lámparas, y luminarias que proporcionan una luminancia menor o equivalente, la llamada a) de la tabla permiten valores más elevados.

NOTA 6 - El alumbrado limitado a la calzada es inadecuado para revelar el entorno o alrededores inmediatos de la vía pública y revelar a los usuarios de la calzada en el bordillo. Los requisitos para la relación de alrededores (SR) se aplican solamente cuando no hay áreas de tráfico con sus propios requisitos junto a la calzada, incluyendo aceras, pistas de ciclistas o carriles de emergencia.



TABLA SERIE CE DE CLASES DE ALUMBRADO

Clase	Iluminancia horizontal	
	\bar{E} en lux [mínima mantenida]	U_0 [mínima]
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

NOTA: Las clases CE están fundamentalmente destinadas a ser usadas cuando los acuerdos para los cálculos de luminancia de superficie de calzada no se aplican o son impracticables. Esto puede ocurrir cuando las distancias de visión son menores de 60 m y cuando son importantes distintas posiciones de observador. Las clases CE están simultáneamente destinadas a otros usuarios de la vía pública en el área conflictiva. Las clases CE tienen una aplicación adicional para peatones y ciclistas en tales casos, donde de las clases S y A definidas en el capítulo 6 no son adecuadas.

TABLA SERIE S DE CLASES DE ALUMBRADO

Clase	Iluminancia horizontal	
	\bar{E} en lx ^a [mínima mantenida]	E_{min} en lx [mantenida]
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	Prestación no determinada	Prestación no determinada

^a Para proporcionar uniformidad, el valor real de la iluminancia media mantenida no puede exceder de 1,5 veces el valor mínimo \bar{E} indicado para la clase.

00330 VTA



FACTORES DE DEPRECIACIÓN DE LA LUMINARIA

Publicación CIE 136 – 2000 "Guía para iluminación de áreas urbanas"

INDICE IP DE LA LUMINARIA	AMBIENTE	INTERVALOS DE LIMPIEZA (meses)				
		12	18	24	30	36
IP2X	Limpio	0,90	0,82	0,79	0,78	0,75
	Medio	0,62	0,58	0,56	0,53	0,52
	Sucio	0,53	0,48	0,45	0,42	0,41
IP5X	Limpio	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
	Medio	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	Sucio	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
IP6X	Limpio	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89
	Medio	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	Sucio	0,91	0,90	0,88	0,86	0,83

AMBIENTES:

Limpio: Ningún humo o polvo generado por actividades cercanas. Tráfico moderado. Nivel de partículas ambientales menos a $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (áreas rurales).

Medio: Humo o polvo moderado generado por actividades cercanas. Tráfico más pesado. Nivel de partículas ambientales menos a $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (áreas residenciales e industrias ligeras).

Sucio: Humo o nubes de polvo generadas por actividades cercanas que pueden envolver ocasionalmente la luminaria (áreas fuertemente industriales).



NIVELES RECOMENDADOS PARA LA ILUMINACION DE CARTELES Y ANUNCIOS LUMINOSOS

Publicación CIE 92 – 1992 "Guía para iluminación de áreas urbanas"

Esta recomendación limita el brillo máximo de los anuncios luminosos en función del tamaño de la superficie luminosa a efectos de proporcionar mayor confort a los ciudadanos y evitar deslumbramientos (pérdida de visión).

BRILLO MAXIMO EN SUPERFICIES LUMINOSAS	
Superficie luminosa en m²	Máxima luminancia candela/m²
Menor de 0.5 m ²	1000
2 m ²	800
10 m ²	600
Mayor de 10 m ²	400

Publicación CIE 150 – 2003 "Guía para la limitación de los efectos de la luz intrusa producida por las instalaciones de alumbrado exterior"

Los máximos valores permisibles recomendados de brillo (cd/m²) en carteles y anuncios luminosos se indican en la siguiente tabla **atendiendo a una zonificación del territorio:**

PARAMETRO LUMINOTECNICO	CONDICION DE APLICACION	E1	E2	E3	E4
luminancia o brillo de la superficie del letrero luminoso (Ls) en candelas por metro cuadrado (cd/m ²)	Obtenido como múltiplo de la iluminación media y del factor de reflexión dividido por π. En letreros con iluminación interior como media de su luminancia.	50 cd/m ²	400 cd/m ²	800 cd/m ²	1000 cd/m ²

*Nota: En zona E1 debe permanecer apagado en el horario de reducción (media noche).
Estos valores no son aplicables a las señales de tráfico cuyos valores se definen en la publicación CIE 74.
Los letreros o señales luminosas no debe ubicarse cerca de ventanas de edificios habitados.

- E1: Zonas oscuras:** Parques nacionales, áreas de singular belleza natural.
- E2: Areas de bajo brillo:** Zonas fuera del perímetro urbano, zonas urbanas rurales.
- E3: Areas de brillo medio:** Zonas urbanas residenciales.
- E4: Areas de brillo alto:** Zonas urbanas con uso comercial o mixto residencial/comercial con elevada actividad nocturna.



Para los letreros y anuncios luminosos iluminados desde el exterior mediante proyectores o luminarias fluorescentes puede seguir las recomendaciones para el alumbrado de fachadas (paramentos verticales) CIE 94 – 1993, lo cual a términos orientativos se simplifica en la siguiente tabla para valores de 50-400 cd/m²:

ILUMINACIÓN MÁXIMA EN SUPERFICIES ILUMINADAS				
Tipo de superficie	ENTORNO DE UBICACIÓN			
	Zona oscura		Zona brillante	
	E1	E2	E1	E2
Superficie clara	50 lux	400 lux	150 lux	1200 lux
Superficie oscura	150 lux	1200 lux	450 lux	3600 lux

NORMATIVA DE PROTECCIÓN DE LA CALIDAD ASTRONÓMICA:

- 1) Las únicas lámparas permitidas son las incandescentes y las de descarga a baja presión y en particular: fluorescentes, incandescentes, incandescentes halógenas y cuarzo-yodo, sodio de baja presión y tubos de descarga de alta tensión con hidrogeno, helio, neón, argón, kriptón, xenón, o mercurio a muy bajas presiones. **No se permiten lámparas de descarga a alta presión (VSAP, VMHM, VM).** (art. 14 R.D. 243/92).
- 2) Los letreros iluminados con proyectores o luminarias deberán evitar el envío de luz directa hacia el cielo, utilizando luminarias con ópticas adecuadas a los elementos a iluminar y al emplazamiento de las mismas, y en su caso utilizar rejillas o deflectores que eviten la salida de luz fuera de la zona de actuación. **Se procurará que la luz vaya dirigida de arriba hacia abajo.** (art. 2 Ley 31/88 y art. 6 R.D. 243/92).
- 3) Las instalaciones deberán permanecer **apagadas** antes o en cualquier caso a partir de las **24:00 h.** Se garantizará este apagado mediante interruptor horario con reserva mínima de marcha de 100 horas programando el apagado a las 23:45h. (art. 14 R.D. 243/92).
- 4) Los niveles **máximos** de luminancia o iluminancia elegidos deben estar razonablemente dentro de los niveles recomendados y justificados según cada caso (art. 6 R.D. 243/92). **Las zonas protegidas se consideran zona E1 para alta sensibilidad (ZAS) y E2 en el resto.**
- 5) **CAJAS DE LUZ:** En la siguiente tabla se exponen los límites máximos de densidad de potencia para distintos materiales de cerramientos de cajas de luz con tubos fluorescentes según mediciones realizadas en colaboración con ASERLUZ (año 2004). Se distinguen las dos zonas posibles E1 (50cd/m²) y E2 (400cd/m²). Estos límites corresponden a la parte o zona del letrero más brillante. **La superficie iluminada del letrero con más de ½ del brillo máximo permitido será inferior al 50% de la superficie total del letrero (no se admite el uso de letreros con anuncio sobre fondo blanco iluminado que no cumpla esta característica).**

La iluminación directa con leds estará limitada en su brillo por lo que deberá preverse un sistema de regulación automática del mismo para cuando sea utilizado en horas nocturnas y diurnas.



CAJAS DE LUZ – Máximo 300w/m²

CAJAS DE LUZ	VATIOS DE TUBOS FLUORESCENTES		MÁXIMO 300 w/m ²
	DENSIDAD DE POTENCIA MÁXIMA POR m ² DE SUPERFICIE DE LETRERO PARA 400 cd/m ²	DENSIDAD DE POTENCIA MÁXIMA POR m ² DE SUPERFICIE DE LETRERO PARA 50 cd/m ²	FACTOR DE INCREMENTO DE LOS w/m ²
METACRILATO OPALINO 6mm	96 w/m ²	12 w/m ²	
METACRILATO OPALINO 4mm	80 w/m ²	10 w/m ²	
METACRILATO OPALINO 3mm, COLADO	80 w/m ²	10 w/m ²	
METACRILATO OPALINO 4mm, PINTADO ROJO	300 w/m ²	200 w/m ²	
METACRILATO OPALINO 4mm, PINTADO AMARILLO	120 w/m ²	15 w/m ²	
METACRILATO OPALINO 4mm, PINTADO AZUL	300 w/m ²	300 w/m ²	
POLICARBONATO OPALINO 10mm, 2 CAPAS SANDWICH,	200 w/m ²	25 w/m ²	
METACRILATO OPALINO 3mm, TRANSPARENTE	36 w/m ²	7 w/m ²	
LONA - SUSTRATO FLEXIBLE - BLANCA	120 w/m ²	15 w/m ²	
VINILO 80 micras AMARILLO	-	-	x 1,7
VINILO 80 micras VERDE	-	-	x 9
VINILO 80 micras BLANCO	-	-	x 3
VINILO 80 micras ROJO	-	-	x 20
VINILO 80 micras AZUL	< 300 w/m ²	-	x 30
EQUIVALENCIAS			
VATIOS DE FLUORESCENTES =	VATIOS DE NEON / 1,3		
VATIOS DE FLUORESCENTES =	VATIOS DE LEDS / 2		

La densidad de potencia vendrá determinada por el valor más pequeño obtenido por cualquier parte de la superficie de la caja de luz, es decir, la superficie más traslúcida, independientemente de su tamaño, determinará la densidad de potencia máxima a instalar en toda la caja de luz. Se entiende que las lámparas estarán uniformemente distribuidas en toda la superficie de la caja de luz. Por superficie de la caja se entiende la de una cara en caso de que se utilice ambas caras.

Neones: tanto cajeado como visto, la intensidad máxima por tubo será entre 18-25mA (a 800V por metro lineal de tubo) (aproximadamente 20w/m).



NIVELES RECOMENDADOS PARA LA ILUMINACION DE FACHADAS Y MONUMENTOS

Publicación CIE 94 – 1993 "Guía para alumbrado con proyectores"

Situación	Luminancia recomendada
Zonas o entornos pobremente iluminados (áreas rurales pobremente iluminadas o de modo atenuado)	4 cd/m ²
Zonas o entornos medianamente iluminados (ciudades pequeñas, suburbios de grandes áreas urbanas)	6 cd/m ²
Zonas o entornos brillantes (zonas recreativas y comerciales en centros urbanos)	12 cd/m ²

Para obtener los niveles de iluminancia "E", una vez definido la luminancia "L" conociendo el valor de la reflectancia de la superficie "ρ", se utiliza la siguiente formula:

$$E = L \frac{\pi}{\rho}$$

En la tabla 2 se aporta dicho valor para diferentes tipos de materiales y situaciones de brillo de los alrededores. (referidos a lamparas de cuarzo-yodo ó incandescentes).

Publicación CIE 150 – 2003 "Guía para la limitación de los efectos de la luz intrusa producida por las instalaciones de alumbrado exterior"

Los máximos valores permisibles recomendados de brillo (cd/m²) en la iluminación de fachadas de edificios o monumentos se indican en la siguiente tabla **atendiendo a una zonificación del territorio**:

PARAMETRO LUMINOTECNICO	CONDICION DE APLICACION	E1	E2	E3	E4
luminancia o brillo de la superficie de los edificios o monumentos iluminados (Ls) en candelas por metro cuadrado (cd/m ²)	Obtenido como múltiplo de la iluminación media y del factor de reflexión.	5 cd/m ²	5 cd/m ²	10 cd/m ²	25 cd/m ²

*Nota: En zona E1 debe permanecer apagado en el horario de reducción (media noche).

E1: Zonas oscuras: Parques nacionales, áreas de singular belleza natural.

E2: Areas de bajo brillo: Zonas fuera del perímetro urbano, zonas urbanas rurales.

E3: Areas de brillo medio: Zonas urbanas residenciales.

E4: Areas de brillo alto: Zonas urbanas con uso comercial o mixto residencial/comercial con elevada actividad nocturna.



NORMATIVA DE PROTECCIÓN DE LA CALIDAD ASTRONÓMICA:

- 1) Debe evitarse el envío de luz directa hacia el cielo, utilizando luminarias con ópticas adecuadas a los elementos a iluminar y al emplazamiento de las mismas, y en su caso utilizar rejillas o deflectores que eviten la salida de luz fuera de la zona de actuación. El objeto a iluminar debe al menos interceptar el haz de luz principal del proyector. (art. 2 Ley 31/88 y art. 6 R.D. 243/92).
- 2) **Las fachadas y objetos se procurará iluminar de arriba hacia abajo y se justificará técnicamente otra disposición.**
- 3) En caso de que se utilicen lámparas de vapor de mercurio o halogenuros metálicos debe evitarse aquellas cuya radiancia espectral para longitudes de onda por debajo de los 440 nm. sea superior al 15% de la radiancia total. (art. 7 R.D. 243/92).
- 4) La instalación deberá permanecer apagada antes o en cualquier caso a partir de las 24:00 h. Deberá garantizarse este apagado mediante interruptor horario con reserva mínima de marcha de 100 horas programando el apagado a las 23:45h. Se procurará que la luz vaya dirigida de arriba hacia abajo (art. 12 R.D. 243/92).
- 5) Los niveles de luminancia o iluminancia elegidos deben estar razonablemente dentro de los niveles recomendados (art. 6 R.D. 243/92).
Los valores en iluminación que actualmente se vienen usando en el ámbito de la Ley son los siguientes:
 - Piedra negra o superficies oscuras: 160- 200 lux
 - Colores medios, verde vegetal, piedra chasnera: 80 – 120 lux
 - Blanco, colores claros, tosca blanca: 40 – 60 lux.Los detalles en fachada (reducido tamaño en relación con la fachada) pueden utilizar hasta el doble del nivel indicado en cada caso según su color.
- 6) **La ley limita esta iluminación a edificios públicos, monumentos y jardines. No permite la iluminación de edificios privados a no ser que hayan obtenido la categoría de monumento (BIC) por la Comunidad Autónoma de Canarias.**
- 7) Ejemplos de cálculos:
 - a) **Cálculos teóricos:** a efectos de cálculos teóricos orientativos podrá obtenerse el nivel medio con la siguiente fórmula suponiendo los proyectores repartidos de forma uniforme:
$$\text{Lúmenes totales instalados} / \text{m}^2 \text{ de superficie útil} \times 0,8 \times 0,7 \times 0,7 \quad (\text{lux})$$

(0,8 es el factor de mantenimiento y 0,7 los factores de rendimiento y utilización)
 - b) **Cálculos con el haz:** caso haz simétrico dirigido hacia el objeto $I_{\text{máx}} = 1600 \text{cd/Kl}$ y apertura del haz de $2 \times 13^\circ$. Según planos el objeto está a unos 8m de distancia y con unas dimensiones de 4x4m y el spot a 8m tienen un diámetro de $8 \times 2 \times \text{tg}13^\circ = 3,7\text{m}$ (acorde con el objeto) el nivel medio en el spot será (lámpara 70w de 6 Klúmenes) $1600 \times 6 \times \frac{3}{4} / 8^2 \times 0,8 = 90 \text{ lux}$ (apto para colores medios pero no blancos). Para no emitir luz sobre el horizonte el proyector no deberá inclinarse más de $90^\circ - 13^\circ = 77^\circ$.



c) Tabla 2: Valores de iluminancia recomendados.
 Todos los valores deben ser aumentados hasta en un 30% si el sujeto está distante.
 La iluminancia de diseño debe tener en cuenta el grado de mantenimiento esperado en servicio.

Materiales de superficie iluminada	Iluminancia recomendada (lux)			Factores de corrección				
	Brillo de los alrededores			Corrección para tipo de lámpara		Corrección para estado de superficie		
	Amortiguado	Medio	Elevado	Halogenuros metálicos	Sodio A.P y B.P	Muy limpia	Sucia	Muy sucia
Piedra clara, mármol blanco	20	30	60	1	0,9	3	5	10
Piedra media, cemento Mármol coloreado claro	40	60	120	1,1	1	2,5	5	8
Piedra oscura, granito gris Mármol oscuro	100	150	300	1	1,1	2	3	5
Ladrillo amarillo claro	35	50	100	1,2	0,9	2,5	5	8
Ladrillo marrón claro	40	60	120	1,2	0,9	2	4	7
Ladrillo marrón oscuro Granito rosa	55	80	160	1,3	1	2	4	6
Ladrillo rojo	120	150	300	1,3	1	2	-	5
Ladrillo oscuro	120	180	360	1,3	1,2	1,5	-	3
Hormigón arquitectónico	60	100	200	1,3	1,2	1,5	2	3
Aluminio natural	200	300	600	1,2	1	1,5	2	2,5
Acabado termolacado Muy coloreado (10%)	120	180	360	-	-	1,5	2	2,5
Rojo-marrón-amarillo	-	-	-	1,2	1	-	-	-
Azul-verdoso	-	-	-	1	1,2	-	-	-
Colores medios (30% a 40%)	40	60	120	-	-	2	4	7
Rojo-marrón amarillo	-	-	-	1,2	1	-	-	-
Azul-verdoso	-	-	-	1	1,2	-	-	-
Colores pastel (60% a 70%)	20	30	60	-	-	3	5	10
Rojo-marrón-amarillo	-	-	-	1,1	1	-	-	-
Azul-verdoso	-	-	-	1	1,1	-	-	-



00392

GUÍA PARA EL ALUMBRADO DE AREAS DE TRABAJO EXTERIORES.

Publicación CIE 68 - 1986

- Areas industriales de almacenamiento y parking.
- Alumbrado de áreas de la industria petroquímica y otras áreas peligrosas.
(Nota: Surtidores en gasolineras 100 lux de media.)
- Alumbrado de obras de edificación.
- Alumbrado de trabajos de electricidad, agua, aguas residuales.
- Alumbrado de puertos, muelles y esclusas.

NOTA: Debe tenerse en cuenta los cambios de uso o necesidades del alumbrado para adaptar la instalación a los niveles mínimos adecuados durante la noche.

GASOLINERAS Y ESTACIONES DE SERVICIO:

Ver apartado de **ALUMBRADOS Y NOTAS DE INTERÉS** en este cuaderno, página 36.



5. ALUMBRADO DE ÁREAS INDUSTRIALES, DE ALMACENAMIENTO Y PARKING O APARCAMIENTO

5.1. Introducción

En este capítulo de la Guía se hace referencia a las siguientes cuestiones:

5.1.1. Áreas industriales: todas aquellas áreas, en las que el proceso industrial se lleva a cabo en el exterior.

5.1.2. Áreas de almacenamiento: todas aquellas áreas, en las que son almacenadas las materias primas, productos acabados, recipientes o mercancías embaladas. Se incluyen áreas usadas durante un largo tiempo de almacenamiento de vehículos tales como automóviles, camiones y caravanas.

5.1.3. Áreas de parking: todas aquellas áreas, en las que los vehículos, camiones y coches están aparcados durante un corto tiempo de aparcamiento, cuando se requiere un acceso fácil a los vehículos.

Temas relacionados son tratados en otros capítulos de la parte B como se enumeran más abajo:

Área de iluminación de la industria petroquímica y otras áreas peligrosas:	capítulo 6
Iluminación de trabajos de electricidad, agua y aguas residuales:	capítulo 7
Iluminación de puertos, muelles y vallados:	capítulo 9

5.2. Requisitos de iluminación general

5.2.1. Función del alumbrado

En general la función de los sistemas de alumbrado en todas las categorías mencionadas anteriormente es proporcionar la iluminación suficiente y adecuada al trabajo, el movimiento seguro de vehículos y peatones y la seguridad de las mercancías e inmuebles.

En particular la función de la iluminación es hacer posible:

en áreas industriales: el uso de herramientas, maquinaria e instrumentos para montaje, construcción y acabado de los productos.

Ejemplos típicos son la prefabricación de secciones de puentes y edificios, el corte y pulimentado de piedra, la soldadura y corte con soplete, mantenimiento del equipo de producción, lectura de los medidores y válvulas en proceso químico.

en áreas de almacenamiento: identificación de mercancías, manipulación precisa de los recipientes, mercancías materiales y lectura de etiquetas.

en áreas de parking: orientación general, encontrar entradas y salidas, situación e identificación de vehículos particulares y percepción de obstáculos.

Se deben tomar medidas para asegurar que la iluminación no origina ningún peligro debido al deslumbramiento, sombras profundas o confusión con lámparas de señalización. La instalación de alumbrado debe ser llevada a cabo de tal modo que no haya riesgo explosión o accidente eléctrico. Las columnas y torres no deben suponer impedimentos para el trabajo o movimiento.

5.2.2. Valores de iluminancia y uniformidad recomendados

La tabla B.5.1. ofrece un resumen de los valores recomendados para diferentes trabajos visuales.



00393

Los valores de iluminación dados son iluminancias horizontales medias mantenidas.

5.3. Equipamiento de alumbrado

Para la información general sobre el equipamiento de alumbrado véase: esta guía, parte A: Principios Generales.

En general no hay requisitos especiales para el equipo de alumbrado en los campos de aplicación antes mencionados, excepto en los que hay una atmósfera corrosiva o explosiva.

En las áreas de parking no se recomienda el uso de lámparas de sodio de presión baja, debido a que la luz monocromática hace difícil reconocer el color de los coches.

Para el alumbrado local portátil, se recomienda el uso de lámparas de baja tensión (<55 v). Debido a la naturaleza basta del trabajo industrial el equipamiento de alumbrado local portátil debe ser protegido contra el impacto mecánico y el mal uso.

5.4. Diseño del alumbrado

5.4.1. Observaciones generales

Debe consultarse la parte A de esta Guía para las líneas generales en el diseño de las instalaciones de alumbrado. En ella se da información sobre la elección de lámparas, luminarias y sistemas montaje para satisfacer los requisitos mencionados en 5.2.2.

Además para el campo de aplicación tratado este documento deben considerarse los siguientes aspectos:
-el uso del alumbrado local puede ser un modo económico de conseguir la iluminación recomendada necesaria en áreas pequeñas.



Tabla B.5.1: áreas industriales, de almacenamiento y parking; valores recomendados para la uniformidad y la iluminación.

Categoría	Ejemplos	Iluminancia horizontal media mantenida E_{med} (lux)	Uniformidad E_{min}/E_{med}
Trabajo * Muy basto	Manipulación de grandes objetos y materias primas (corta duración). Carga y descarga de materiales a granel.	20	0.25
Basto	Manipulación de grandes objetos y materias primas (continuamente). Apilamiento de cargas, puestos de control en áreas de parking	50	0.25
Normal	Trabajo corriente con herramientas, Lectura de etiquetas	100	0.40
Fino	Pintura, trabajo eléctrico. Todos los trabajos con herramientas de potencia. Montaje de tuberías, inspección	200	0.50
Movimientos de peatones	Sólo movimiento de gente	5**	0.15
Vehículos de movimiento lento	Movimiento de carretillas elevadoras. Alquiler de coches, Evitar obstáculos en áreas de parking	10	0.25
Tráfico normal	Tráfico normal (hasta 40 km/h). Principales arterias en áreas de parking.	20	0.40
A. Seguridad	El nivel de riesgo es determinado considerando la probabilidad de accidentes y la consecuencia de pérdidas o daños en el equipamiento, instalación o comunidad	5**	0.15
B. Áreas de bajo riesgo		20	0.25
C. Áreas de riesgo medio		50	0.40
D. Áreas de alto riesgo			

* Si la tarea visual está en un plano distinto del horizontal, entonces deben aplicarse los valores indicados

** Si se satisfacen estos requisitos para iluminación horizontal, en general la iluminación vertical es satisfactoria.

Se recomienda un sistema de conmutación para obtener iluminación reducida fuera de las horas de trabajo. La menor iluminación no debe ir en detrimento de la seguridad. (véase: capítulo 11).

Si esto puede efectuarse apagando un cierto número de lámparas, debe tenerse cuidado para evitar manchas oscuras que podrían afectar adversamente a la seguridad.

- la instalación debe ser tal, que el fallo de una sola lámpara no interfiera con el trabajo o la seguridad en áreas críticas.

- el uso de alturas de montaje elevadas tiene muchas ventajas; las luminarias producen mejor uniformidad, son menos deslumbrantes y causan menos confusión con las señales luminosas. Para áreas en las que se manipulan productos inflamables se evita la necesidad de tener que utilizar luminarias antideflagrantes o de seguridad aumentada.

Además las luminarias permanecen más limpias y no requieren que la limpieza se lleve a cabo tan a menudo.



6. ALUMBRADO DE ÁREAS DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA Y OTRAS ÁREAS PELIGROSAS

6.1. Introducción

El propósito de este capítulo es proporcionar una serie de líneas a seguir para satisfacer los requisitos visuales y de seguridad relacionados con el alumbrado de áreas de la industria petroquímica y de otras áreas peligrosas.

6.2. Requisitos del alumbrado general

6.2.1. Función del alumbrado

Las instalaciones petroquímicas implican medios para la recepción, almacenamiento, tratamiento, refinado y transporte de petróleo o combustibles similares u otros materiales gaseosos, líquidos o sólidos.

Las tareas visuales se reducen a operaciones muy básicas tales como hacer girar una válvula, poner en marcha una bomba, o tan sólo caminar o conducir a través de las distintas áreas. Debe preverse alumbrado local suplementario donde hayan de realizarse trabajos visuales críticos.

En las instalaciones de tratamiento moderno en continuo, el trabajo del mantenimiento es planificado durante fases de descanso a lo largo del día. Cuando se requiere que el mantenimiento se haga durante la noche, debe emplearse alumbrado portátil.

Generalmente, las refinadoras modernas tienen sistemas de control automático sofisticados que eliminan o simplifican las tareas visuales. En consecuencia, muchas áreas requieren iluminación sólo para el movimiento seguro del personal, mientras que áreas que se utilizan durante el día no requieren iluminación, excepto posiblemente por razones de emergencia y seguridad.

6.2.2. Valores de iluminancia y uniformidad recomendados

La tabla B.6.1. ofrece una perspectiva de los valores recomendados para áreas, maquinaria y equipamiento diferentes, y tareas de trabajo en industrias petroquímicas.

Las recomendaciones de esta tabla han sido establecidas sobre la base de los requisitos de cantidad y calidad corrientemente experimentados para alumbrado exterior de refinadoras.

Cuando las tareas visuales particulares requieran un alumbrado local suplementario, puede ser aceptable una uniformidad menor en el área circundante que la dada en la tabla 6.1.

La iluminancia horizontal es la consideración principal, pero a veces es necesario considerar la iluminancia de superficies verticales (por ejemplo estanterías de almacenamiento vertical, instrumentos de medición, lectura de manómetros y medidores, etc).

00394 VTA



Tarea visual		Iluminancia horizontal media mantenida E_{med} (lux)	Uniformidad E_{min}/E_{med}
Categoría	Ejemplo típico		
AREAS			
<u>Áreas de trabajo</u>	Campos de depósitos, Áreas de proceso general, Torres de enfriamiento y área de bombas de agua, Área de caldera y compresor de aire Área de carga general, ● Puntos de carga y descarga de combustible.	10 10 50 50 50 100	0.15 0.25 0.40 0.40 0.40 --
<u>Carreteras de instalación o planta</u>	Lotes de parking, Vehículos de movimiento lento, Tráfico normal.	5 10 20	0.15 0.25 0.40
<u>Áreas de almacenamiento</u>	Sin obstáculos, Con obstáculos; áreas de alto riesgo.	10 50	0.15 0.40
<u>Sub-estación eléctrica</u>	Estaciones de conmutación exterior y subestaciones generales, Parrillas de conmutación, Pasillos operativos de subestación.	20 50* 100	0.40 0.40 0.40
<u>Instalaciones de muelle de depósitos</u>	Áreas generales, Manipulación de mangueras, punto de múltiple y carga	10 50	0.25 0.25



6.3. Equipos de alumbrado y material eléctrico para áreas peligrosas

6.3.1. Consideraciones específicas

Para información general sobre equipos de alumbrado véase: esta guía, parte A: Principios Generales. A continuación se tienen en cuenta algunos problemas asociados con atmósferas peligrosas y corrosivas.

6.3.1.1. Atmósferas peligrosas

En las industrias petroquímicas algunas áreas de una instalación pueden estar expuestas a la liberación de gases, vapores o polvo inflamables a la atmósfera.

Por ello, es necesario seguir las recomendaciones y normativas locales en vigor para el equipo de alumbrado y eléctrico que ha de ser usado en tales situaciones peligrosas.

Normalmente, deben usarse luminarias antideflagrantes en tales áreas, mientras que para áreas menos peligrosas son también adecuadas luminarias del tipo cerrado, con juntas y del tipo resistente a ignición de polvo y estancas. El peligro de explosión debido a chispas producidas por conmutadores electro-mecánicos, relés, etc., usados en conexión con sistemas de alumbrado puede ser superado mediante el uso de dispositivos de conmutación electrónicos de estado sólido, tales como transistores y tiristores.

6.3.1.2. Atmósferas corrosivas

Una variedad de sustancias químicas corrosivas están normalmente presentes en las instalaciones petroquímicas. El método normal de protección contra éstas es el uso de materiales que resistan el ataque: preparaciones superficiales especiales tales como revestimientos de poli(cloruro de vinilo) y acabados a base de resina epoxídica. Además de las condiciones corrosivas relacionadas con el proceso y cualesquiera plantas adjuntas, deben considerarse la acción de elementos tales como niebla, humedad elevada y aire marino cargado cuando se seleccionen los sistemas de protección adecuados para luminarias y su montaje y equipo de suspensión.

6.3.2. Lámparas

Para el alumbrado general deben usarse lámparas de descarga de alta intensidad (HID). Para áreas de baja ocupación en las que no se requiere identificación cromática, son adecuadas las lámparas de sodio de baja presión debido a su eficacia luminosa muy elevada. Cuando la discriminación cromática es importante, deben usarse lámparas de halogenuros metálicos o lámparas fluorescente tubulares. En casos en los que es aceptable el rendimiento cromático medio, deben usarse lámparas de mercurio de alta presión o lámparas de sodio de alta presión, siendo preferible la última desde el punto de vista de economía y conservación de energía.

6.3.3. Sistemas de montaje

Es aconsejable montar las luminarias tan altas como sea posible debido a que la atmósfera está más limpia, lo cual reduce:

1. el riesgo de explosión y
2. en caso de explosión, sus efectos

Además la menor velocidad de depósito de polvo y de corrosión da como resultado un mantenimiento significativamente menor.

Cuando sea posible, las estructuras existentes pueden ser usadas como sistemas de montaje. Puede obtenerse información adicional a partir de la parte A de esta Guía.

6.4. Diseño del alumbrado

Las unidades de tratamiento exterior, áreas de almacenamiento, puntos de carga y descarga y otras áreas pueden ser iluminadas efectivamente mediante proyectores de alta potencia. Para áreas con sombras y otras áreas pequeñas no iluminadas adecuadamente por el sistema de alumbrado principal pueden usarse luminarias locales de menor potencia. Con iluminación por proyectores, debe tenerse cuidado para evitar el deslumbramiento dentro y fuera de las áreas de la actividad. Los proyectores asimétricos han probado ser muy útiles para controlar el deslumbramiento.

00395 VTA



Las luminarias montadas en plataformas superiores, en columnas o partes superiores de estructuras están equipadas normalmente con sistemas ópticos que concentran la luz en direcciones descendentes. Las luminarias montadas en plataformas intermedias emiten normalmente luz en la mayor parte de las direcciones a fin de iluminar estructuras adyacentes y suavizar sombras fuertes con la luz reflejada desde ellas.

Las propiedades de rendimiento cromático elevado son a veces requeridas en áreas exteriores de la refinería, excepto para áreas que contienen materiales peligrosos identificados por señales o etiquetas de colores.

Para cálculos de diseño básico y otra información en el diseño de alumbrado de áreas consúltese la parte A de esta Guía.

6.5. Mantenimiento

Teniendo en cuenta la velocidad típica de corrosión y depósito de suciedad en una atmósfera exterior a la refinería, el factor de mantenimiento para la refinería no debe ser mayor de 0,6 (0,75 para alturas de montaje superiores a 20 m) desde un punto de vista económico.

El reemplazamiento por grupo de lámparas es generalmente un sistema de mantenimiento económico. Sin embargo, para áreas iluminadas por una sola lámpara, es necesario el reemplazamiento individual. Para más información general acerca de este asunto, consúltese la parte A de esta Guía.



00396

7. ALUMBRADO DE OBRAS DE EDIFICACIÓN

7.1. Introducción

Los sistemas de alumbrado son una ayuda esencial para la prevención de accidentes en las industrias de la edificación e ingeniería civil. Los accidentes en las obras de edificación son muy comunes. Una buena iluminación puede contribuir a crear seguridad de varias maneras. Sirve para mejorar la seguridad del trabajo al tiempo que acelera y mejora simultáneamente el trabajo real de construcción. La productividad y la seguridad una vez más van de la mano. Además, las obras o solares de edificios iluminados desaniman a los ladrones y a los autores de actos vandálicos potenciales. Este capítulo tiene la finalidad de ayudar a todos los implicados en estos problemas.

7.1.1. Disponibilidad de la luz natural

La luminancia del cielo, y por tanto la cantidad de luz recibida desde el mismo, varía con la latitud, con la época del año y con la hora del día. La información sobre la disponibilidad de la luz natural es confeccionada a partir de las mediciones llevadas a cabo durante largos períodos en estaciones meteorológicas en distintas partes del mundo. Para algunos países se ha estimado que en invierno debido a la insuficiente luz natural, se pierde aproximadamente el 60% del tiempo de trabajo.

7.1.2. Seguridad contra accidentes

La relación de incidencias de accidentes en la construcción es mayor que en la industria. No es posible decir qué proporción de accidentes se deben a una mala iluminación, pero la experiencia sugiere que es significativa. Es evidente que la buena iluminación reduce la relación de accidentes.

Los peligros que afectan a la seguridad en los solares u obras de edificación no sólo afectan a los trabajadores de las obras, sino también a peatones y tráfico, particularmente en ciudades. Por ello, la iluminación generalmente no debe limitarse al interior de las obras y así debe cubrir también el área que circunda a la obra. El alumbrado de pasos cubiertos que ofrecen protección a los peatones respecto a la caída de objetos es un ejemplo en este campo.

7.1.3. Productividad

La productividad de está relacionada con la velocidad de producción y la calidad del trabajo producido; ambas están afectadas por el estándar de iluminación. Una buena iluminación aumenta la rapidez, el trabajo consistente, y reduce el número de fallos que subsiguientemente ha de ser rectificadas.

7.1.4. Seguridad

Las importantes pérdidas debidas a robos, vandalismo e incendio son comunes en las obras y solares de edificación y es menos probable que ocurran si se provee un alumbrado de seguridad adecuado.

7.2. Requisitos de alumbrado

7.2.1. Alumbrado de obra

El alumbrado de obra debe ser diseñado de tal manera que las personas puedan moverse de manera segura por cualquier zona de la obra y ver clara y rápidamente lo necesario para su trabajo. El alumbrado debe originar las menores inconveniencias posibles a los residentes locales, a los conductores que emplean carreteras adyacentes, y a otras personas ajenas a la obra. Las instalaciones de alumbrado de obra son temporales, y todo lo que se necesita usualmente es proporcionar la cantidad recomendada de luz eficientemente y desde direcciones preferidas, y limitar el deslumbramiento adecuadamente.

Las condiciones en una obra varían cuando el trabajo avanza. Estructuras, rutas de acceso, la situación de zonas peligrosas tales como agujeros sin vallar, y otras características cambian constantemente, y las instalaciones de alumbrado deben adaptarse para satisfacer todos los requisitos alterados de modo que no se interrumpa ninguna actividad por falta de luz. Después de cada modificación, debe comprobarse la luminancia en todas las partes de la obra, para estar seguro de que los valores cumplen con los valores recomendados. La instalación debe también comprobarse para un adecuado control del deslumbramiento.



7.2.2. Limpieza del solar

La demolición y la limpieza de la obra tiene lugar usualmente durante el día, pero pueden continuar después de anochecer si está justificado por la extensión y la urgencia del trabajo.

Se requerirá alumbrado temporal y debe preverse preferiblemente mediante proyectores montados en columnas transportables en remolques con su propio generador, evitando así la necesidad de arrastrar cables y de este modo se consigue que la luz sea redirigida rápidamente cuando cambian las posiciones de trabajo.

Las luminarias no deben ser montadas en un edificio que está siendo demolido, ni tampoco en los brazos de las grúas. Los faros de vehículos no pueden proporcionar iluminación adecuada para áreas que se están limpiando y nivelando y en las que se están moviendo grandes cantidades de tierra. Aquí deben usarse proyectores montados en posteletes.

Cuando las características geográficas lo permitan, tal como en un valle en el que se está construyendo una presa, pueden tenderse cables que soporten luminarias de alta potencia a lo largo del valle, etc., para proporcionar la iluminación.

7.2.3. Iluminación de seguridad

Durante las horas de oscuridad, la iluminación de seguridad disuade a los intrusos y permite a las patrullas de seguridad detectar su presencia y moverse por los alrededores con seguridad, reduciendo así el riesgo de pérdidas por atraco, vandalismo o fuego. Como los niños son atraídos naturalmente a los zonas de obras y son incapaces de apreciar los peligros, es particularmente importante disuadirlos de que entren a la obra.

Un sistema de alumbrado de seguridad diseñado a propósito debe incluir el alumbrado del perímetro (cuando sea aplicable), iluminación de áreas abiertas (particularmente de áreas en las que se almacenan los vehículos, plantas o materiales valiosos), iluminación de puntos de control en entradas, e iluminación de cualquier área con sombras.

Para información general sobre alumbrado de seguridad, véase capítulo 11.

7.2.4. Valores de iluminancia y uniformidad recomendados

La tabla B.7.1 da un resumen de los valores recomendados para diferentes tareas visuales.

En la mayoría de los casos el equipo de alumbrado para obras de edificación es de un diseño simple y robusto. Por otro lado, las fuentes de luminosas no pueden ser posicionadas siempre en los lugares más apropiados, sino muy a menudo montadas en remolques móviles o fijados en el andamiaje u otras partes estructurales del edificio en construcción. Los niveles de iluminancia requeridos para instalaciones permanentes no pueden ser conseguidos a veces sin producirse un deslumbramiento excesivo.

Por esta razón, se ha empleado el concepto de iluminancia media horizontal (E_{media}) sobre el área de trabajo en la tabla B.7.1.

En cualquier caso, no debe permitirse que la iluminancia caiga por debajo de 1 lux en ningún área exterior de la obra.

La iluminación de obra debe ser diseñada para proporcionar iluminación con poco deslumbramiento, o con ninguno. Sin embargo, debido a la naturaleza de las condiciones de trabajo la iluminación tendrá que satisfacer continuamente condiciones cambiantes.

Consiguientemente, es muy difícil indicar las medidas efectivas para limitación del deslumbramiento.

Es importante que la luz provenga al menos de dos direcciones diferentes a fin de evitar la creación de fuertes sombras y para proporcionar al menos una percepción visual mínima cuando la visión resulte perjudicada al mirar directamente hacia la luz. Esto es particularmente importante cuando se emplean cubos cargados en grúas. Una iluminancia media mantenida de 20 lux para áreas de trabajo general es usualmente suficiente para manejar las grúas.

Pueden usarse proyectores adicionales si se necesita más luz, pero estos no deben montarse en el brazo de la grúa. Hay dos razones para esto: en primer lugar, las manchas de luz móviles procedentes de los proyectores montados en la grúa pueden distraer la atención de los que trabajan en una estructura elevada y conducir a accidentes; en segundo lugar, el deslumbramiento debido a los proyectores puede hacer difícil que los trabajadores vean el gancho de la grúa cuando miran hacia arriba.



00397

Tarea visual	Luminancia horizontal media mantenida E_{med} (lux)	Uniformidad (E_{min} / E_{med})
Operaciones realizadas y áreas que han de ser alumbradas		
Movimiento de gente, máquinas y vehículos, aceras y calles de acceso	20	0.25
Áreas de carga y descarga, manipulación de materiales.	20	0.4
Trabajo basto general, limpieza de la obra, trabajo de excavación y de tierra	20	0.25
Reforzar, hormigonar, obturar construcción, colocación de ladrillos (excepto fachadas); trabajo en bloque; carpintería.	100	0.4
Erección y desmantelamiento de andamios		
Trabajo de estructura de acero.	100	0.3
Funcionamiento de sierras circulares.	300	0.4
Almacenes y áreas de depósito	20	0.25
Seguridad.	Se hace referencia al capítulo 11.	
Casetas de obra (habitaciones de descanso, habitaciones con taquillas, servicios).	}	referencia a especificaciones de alumbrado interior
Oficinas de obra (en despachos y mesas de referencia, alumbrado general de oficinas de dibujo).		

Los proyectores de alumbrado de áreas son montados usualmente muy por debajo de la altura de la cabina de la grúa y son apuntados hacia abajo. Es por ello improbable que el operario de la grúa experimente un deslumbramiento directo procedente de los mismos, pero las reflexiones de las fuentes de luz en grandes charcos pueden ser molestas y el área puede necesitar ser drenada.

Las estructuras y andamios con bastidor de acero ofrecen muchas posibilidades para el montaje de las luminarias. Debido al peligro de deslumbramiento es aconsejable usar un gran número de fuentes de luz de baja potencia.

7.3. Equipo de alumbrado y eléctrico

7.3.1. Suministro de energía eléctrica

Las luminarias para obras o solares de construcción pueden ser fijas (calles con tráfico) o móviles (en el campo). Para impedir la electrocución y cumplir con previsiones estatutarias impuestas en la mayoría de los países con respecto a esta materia, es a menudo necesario hacer uso de muy bajas tensiones de seguridad (<55 V). Las luminarias deben ser seguras y adecuadas para su uso en circunstancias húmedas. Los sistemas fijos no son usualmente alimentados con muy baja tensión (<55 V) ya que la mayor parte de ellos es inaccesible sin equipo especial.

7.3.2 Equipo de alumbrado

Para información general sobre equipos de alumbrado, véase: esta guía, parte A, Principios Generales.

Debe recordarse que la mayor parte del equipo de alumbrado de obra es usado en condiciones de amplia sollicitación y peligro. Deber ser, por ello, seguro, simple y robusto. En particular, este ha de ser el caso de lámparas portátiles y cadenas con luz. En la mayoría de los países, su uso y fabricación está controlado estrictamente por la ley. En el caso de proyectores usados frecuentemente en estos tipos de instalaciones, pueden añadirse pantallas para ocultar la luz desde ciertas direcciones a fin de impedir el deslumbramiento.

7.4. Diseño del alumbrado

El carácter temporal de las instalaciones de alumbrado de obras de construcción no permite ni estudios exhaustivos ni la realización de instalaciones muy sofisticadas.



Muy a menudo, el alumbrado de una obra o solar de edificación es sólo tenido en consideración cuando la construcción ha comenzado ya, con el resultado de que la iluminación es insuficiente, costoso de instalar y ciertamente no económico.

Consiguientemente, es de la mayor importancia que la iluminación deba ser tenida en consideración antes de que comience la edificación. Cuando el alumbrado de vías públicas o el alumbrado con columnas altas sea parte de los trabajos de edificación completados, es a veces ventajoso instalarlo antes de que comience el trabajo de construcción, ya que puede proporcionar un alumbrado de obra útil.

Para recomendaciones generales sobre el diseño de instalaciones de iluminación debe consultarse la Parte A de esta Guía. Allí se ha dado información válida sobre elección de las lámparas, luminarias y sistemas de montaje para cumplimentar los requisitos mencionados en 7.2.1. - 7.2.4.

La instalación debe ser tal que el fallo de una sola lámpara no interfiera significativamente con el trabajo o seguridad en áreas críticas.

En general, es más económico y menos molesto para el trabajo en progreso usar un pequeño número de columnas o torres altas que una multiplicidad de unidades bajas.

Hay limitaciones en el número de proyectores que puede soportar una torre; esto depende fundamentalmente del peso y de la superficie al viento de la luminaria.



00398

8. EL ALUMBRADO DE TRABAJOS DE ELECTRICIDAD, AGUA Y AGUAS RESIDUALES

8.1. Introducción

En este capítulo de la Guía se tratan las siguientes cuestiones:

8.1.1. Trabajos de electricidad: Estaciones generadoras de electricidad, almacenamiento de combustible y áreas de manipulación, subestaciones, transformadores y áreas de conmutación.

8.1.2. Trabajos de agua y aguas residuales: Lechos de tratamiento químico y filtrado. Áreas de bombeo.

Esta parte de la Guía debe usarse junto con la Parte A: Principios Generales.

Las cuestiones relacionadas (tales como áreas de almacenamiento de combustible, carreteras de acceso, alumbrado de seguridad, etc.) se tratan en otros capítulos de la parte B de la Guía según se indica a continuación:

Alumbrado de áreas industriales, almacenamiento y parking:	capítulo 5
Alumbrado de industria petroquímica y otras áreas peligrosas:	capítulo 6
Alumbrado de seguridad:	capítulo 11

8.2. Requisitos de alumbrado general

8.2.1. Función del alumbrado

En general la función de los sistemas de alumbrado en todas las categorías mencionadas anteriormente es proporcionar la iluminación adecuada y segura para el trabajo, movimiento seguro del personal y vehículos y seguridad de las instalaciones.

En particular la función del alumbrado es proporcionar:

en trabajos de electricidad: indicación clara de las áreas de acceso restringido, reparaciones de emergencia seguras y rápidas, reemplazamiento de partes críticas y seguridad estricta.

en trabajos de agua y aguas residuales: indicación clara de la posición de pasillos y escaleras, funcionamiento de válvulas, bombas y otro equipamiento y disuadir a los intrusos (en particular niños).

Deben adoptarse pasos para asegurarse que la iluminación no origina ningún peligro debido al deslumbramiento o sombras marcadas. Además, la instalación de alumbrado debe ser llevada a cabo de tal manera, que no haya riesgo de "shock" eléctrico o explosión (de los gases emitidos en trabajos de aguas residuales o de los combustibles usados por una estación de electricidad).

8.2.2. Valores de iluminancia y uniformidad recomendados

La tabla B.8.1 da un resumen de los valores recomendados para diferentes tareas visuales.



Tabla B.8.1.: Trabajos de electricidad, agua y aguas residuales: valores para iluminancia y uniformidad recomendados

Categoría	Tarea visual	Iluminancia horizontal media mantenida E_{mes} (lux)	Uniformidad (E_{min}/E_{max})
	Ejemplo típico		
Seguridad			
Áreas de bajo riesgo	Perímetro exterior, áreas de almacenamiento de carbón.	5	0.15
Áreas de riesgo moderado	Áreas de almacenamiento de combustible. Trabajos de agua; áreas de conmutación de trabajos de electricidad.	20	0.25
Áreas de riesgo elevado	Entradas a áreas de conmutación.	50	0.40
Movimiento y tráfico			
Peatones			
	Movimiento de personal		
	- en áreas seguras	5	0.15
	- en áreas peligrosas (caminos de alta tensión)	20	0.25
Tráfico de movimiento lento (< 5 km/h)	Bicicletas, carretillas elevadoras, máquinas de excavación,	10	0.25
Tráfico a velocidad normal (<40 km/h)	Alumbrado de carreteras de acceso	20	0.40
Trabajo*			
Muy basto	Descarga de camiones de carbón,	20	0.25
Basto	Trabajo de inspección general,	50	0.25
Normal	Trabajo de mantenimiento general y lectura de medidores,	100	0.40
Fino**	Reparación de equipamiento eléctrico	200	0.50

* Si la tarea visual está en un plano distinto del horizontal entonces deben aplicarse también los valores indicados

** Pueden requerirse valores de iluminancia mayores para tareas difíciles.

8.3. Equipo de alumbrado

Para información general sobre equipo de alumbrado véase: esta Guía, parte A: Principios Generales.

No hay requisitos especiales para el equipamiento de alumbrado en los campos de aplicación antes mencionados, excepto cuando hay una atmósfera explosiva o corrosiva.

En casos en los que es necesaria la discriminación cromática se recomiendan lámparas que proporcionen un índice de rendimiento cromático $R_a > 20$.

8.4. Diseño de alumbrado

8.4.1. Observaciones generales

Para recomendaciones generales para el diseño de las instalaciones de alumbrado debe consultarse la parte A de esta Guía. Se ha dado información sobre la elección de lámparas, luminarias y sistemas de montaje para satisfacer los requisitos mencionados en 8.2.2.

Además para el campo de aplicación tratado en este documento deben considerarse los siguientes puntos:

(i) se recomienda un sistema de conmutación para conservar la energía. Debe diseñarse para mantener la seguridad en cualquier instante, y para permitir que la iluminación sea incrementada donde y cuando se lleve a cabo una inspección, mantenimiento o trabajo de reparación.

Si esto puede efectuarse apagando un cierto número de lámparas, debe tenerse cuidado para evitar puntos oscuros y sombras profundas que podrían afectar a la seguridad.

(ii) la instalación debe ser tal, que el fallo de una sola lámpara no interfiera con el trabajo o seguridad en áreas críticas.



00399

- (iii) debido a que en estos campos de aplicación el número de posiciones posibles de las columnas está severamente restringido, se recomienda el uso de un pequeño número de columnas altas para el alumbrado general.
- (iv) el diseño de la instalación debe prestar particular atención a proporcionar una buena iluminación para las rutas de acceso del personal a los puntos de trabajo críticos (pasillos estrechos, escaleras, etc.)

8.4.2. Trabajos de electricidad

Debido a que la mayoría de los aspectos están relacionada en alguna otra parte de esta Guía, este párrafo sólo trata los aspectos específicos de la iluminación exterior de subestaciones transformadoras y áreas de conmutación.

El tipo del sistema de alumbrado empleado depende principalmente de la altura del transformador y las instalaciones de conmutación que incluyen cables aéreos.

Con instalaciones bajas (<10 m) es posible usar alturas de montaje bajas (alrededor de 5 m) y luminarias con baja luminancia y una distribución de intensidad luminosa difusa. Son adecuadas luminarias que emplean lámparas fluorescentes tubulares o lámparas de sodio con cubiertas difusoras.

El sistema está recomendado, debido a que tanto los cables en tierra, como los aéreos, aisladores, etc., han de ser visibles al nivel del suelo.

Si la instalación es alta (> 10 m), deben montarse luminarias adicionales a alturas que excedan de la altura de la instalación en al menos 5 m.

Aquí son adecuadas luminarias que emplean lámparas de sodio de alta presión con una distribución de luz direccional. Aunque las lámparas de sodio de baja presión son más económicas, no pueden ser usadas si la discriminación cromática es importante; es decir, en casos en los que se emplean códigos cromáticos en equipo eléctrico y avisos de peligro.

La figura B.8.1. ofrece un ejemplo de una instalación típica.

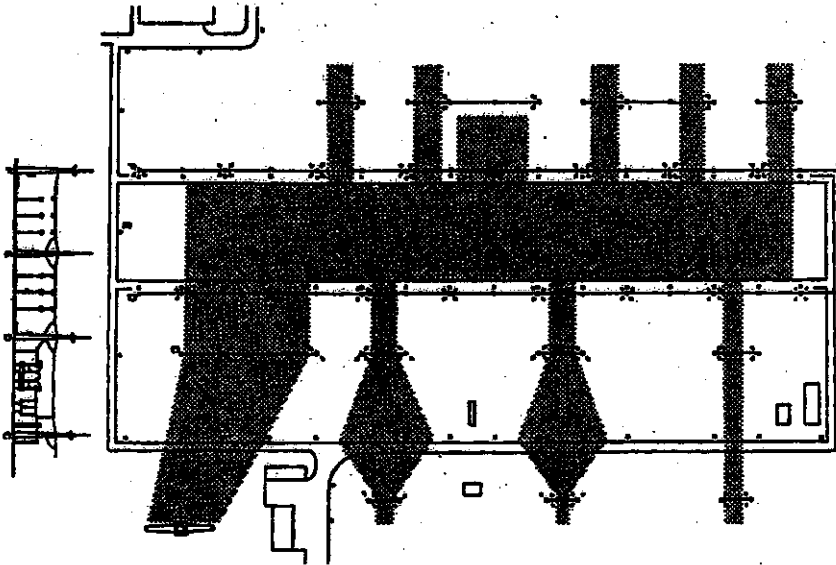


Fig.B.8.1. Ejemplo de un sistema de iluminación típica de estación transformadora de 380 kV. Véase párrafo 8.4.2. Las funciones básicas del alumbrado son hacer posible la realización de:

- a. control de seguridad
- b. movimiento seguro del personal
- c. inspección general
- d. trabajos de reparación y mantenimiento

00399 VTA



~~Debido a que normalmente no es necesario ni económico proporcionar iluminancia suficiente para trabajos de reparación y mantenimiento en cualquier lugar, se recomienda un sistema de conmutación de doble nivel.~~

Para trabajos de reparación específicos (tareas críticas), se recomienda el alumbrado local portátil. Deben preverse puntos de toma de energía suficientes. El sistema debe ser alimentado parcialmente desde una alimentación de emergencia, de modo que las funciones básicas del alumbrado puedan ser desempeñadas.

El uso de alumbrado mediante lámparas fluorescentes o incandescentes en la alimentación de emergencia puede resolver problemas que surgen a partir de los tiempos relativamente largos de reencendido de otras lámparas de descarga en gas.

Los sistemas descritos anteriormente proporcionan la luz suficiente desde arriba y desde abajo para ver la tarea visual aérea. Sin embargo debe tenerse cuidado de impedir el deslumbramiento que reduce la visibilidad en direcciones críticas.

Todo el equipamiento de alumbrado debe tener distancias en el aire adecuadas de los conductores de alta tensión; además, debe ser posible mantener el equipo de iluminación sin peligro para el personal. No se recomienda el uso de escaleras portátiles y/o columnas articuladas con propósitos de mantenimiento.

8.4.3. Trabajos de aguas y aguas residuales

La característica principal de estas instalaciones es la presencia de grandes depósitos de agua abiertos y lechos de filtrado. Unos canales de agua profundos conectan estos, en los que el agua puede moverse deprisa. Partes de la instalación de agua o aguas residuales difieren en altura (hasta casi 5 m). Hay muchos pasillos de conexión, escaleras y escalones; normalmente con barandillas, al menos en un lado. A menudo el funcionamiento de la instalación es controlado por ordenador principalmente, de modo que no siempre hay personal presente.

Contrariamente a otras cuestiones descritas en esta Guía en este tipo de instalación, los trabajos de reparación no necesitan realizarse inmediatamente; a menudo hay un tiempo amplio disponible, de modo que puede usarse alumbrado local montado temporalmente para las tareas visuales de mayor dificultad.

Las tareas visuales son generalmente simples: hay pocos detalles críticos y la discriminación cromática no es siempre necesaria. Una tarea típica es localizar pequeños objetos extraños flotantes. Así la función principal del alumbrado es proporcionar una orientación y movimiento del personal seguros durante los recorridos de control y disuadir a los intrusos no autorizados y a los niños que juegan. Para tareas específicas tales como lectura de medidores, muestreo, etc. el alumbrado local es la mejor solución.

Cuando el número de posiciones de columna potencial está limitado, se recomienda un sistema de alumbrado basado en el uso de alturas de montaje de medias a elevadas (12-20 m).

Cuando la discriminación cromática no es importante, pueden usarse lámparas de sodio ventajosamente. Debido al máximo paquete de lúmenes disponible, las lámparas de sodio baja presión son económicas sólo para alturas de montaje medias. Para columnas altas se recomienda el uso de lámparas de sodio de alta presión.

Se pueden usar luminarias de alumbrado de vías públicas o proyectores. Las columnas deben posicionarse para impedir sombras marcadas en los pasillos, en las escaleras y cerca de canales de agua profundos.

En ciertas áreas de trabajos de aguas residuales puede existir atmósfera corrosiva o explosiva (puede almacenarse metano en depósitos), en cuyo caso deben emplearse luminarias adecuadas o alturas de montaje elevadas.



00400

10. ALUMBRADO DE PUERTOS, MUELLES Y ESCLUSAS

10.1 Introducción

En este capítulo se tratarán las siguientes cuestiones:

1. Puertos: vías navegables, embarcaderos y malecones
2. Astilleros: diques o muelles, zonas de reparación y construcción
3. Esclusas: puerto de salida, plataformas de esclusas y cámaras de esclusas.

La información del alumbrado técnico general en esta aplicación puede encontrarse en:

Parte A: Principios Generales.

Cuestiones tales como el alumbrado de áreas de almacenamiento, terminales de contenedores, carreteras y ferrocarriles están cubiertos en los capítulos 5 y 9 de esta parte de la Guía.

10.2. Requisitos de alumbrado general

10.2.1. Función del alumbrado

La función del alumbrado de esclusas, puertos y astilleros es permitir:

- la navegación, amarre y paso de barcos a través de la esclusa seguros.
- manipulación precisa de carga general, contenedores y carga a granel (por ejemplo aceite, mineral, cereales).
- manipulación eficiente, almacenamiento y transporte de carga por ferrocarril o camión.
- desembarco rápido y fácil, embarque y tránsito de pasajeros, tripulación y vehículos.
- vigilancia fácil para seguridad y custodia.
- servicio en general.
- trabajo de construcción, reparación y mantenimiento en astilleros y diques o muelles.

Se han de tomar medidas para asegurar que ni las luces, ni el equipo de alumbrado interfiera con grúas o tráfico u origine impedimentos para la navegación de barcos y aviones.

Esto se aplica al deslumbramiento directo procedente de las luminarias así como al deslumbramiento indirecto originado por la luz reflejada desde la superficie del agua.

10.2.2. Valores de iluminancia y uniformidad recomendados

La tabla B.10.1. ofrece un resumen de los valores recomendados para diferentes tareas visuales.

Los valores de iluminancia dados son: iluminancias medias mantenidas (en lux).



Tarea visual	Iluminancia horizontal media mantenida E_h (lux)	Iluminancia vertical media mantenida E_{av} (lux)	Uniformidad (E_{min} / E_{av})
Puertos			
Alumbrado general fuera de las horas de trabajo.	5	-	0.15
Muelles y diques.	10	-	0.15
Carga general de cargueros.	20	-	0.25
Movimiento de pasajeros, planchas, escaleras.	50	-	0.25
Áreas de trabajo en muelles.	20	-	0.25
Movimiento de vehículos.	20	-	0.25
Paso de trabajadores de muelle.	10	-	0.15
Terminales de contenedores.	20	10	0.25
Lectura de manómetros; manipulación de acoplamientos de tubos.	50	50	-
Astilleros y diques			
Alumbrado general.	20	-	0.15
Áreas de almacenamiento de unidad prefabricada.	20	-	0.15
Desguace de cascos.	50	50	0.25
Pintura de cascos, soldadura.	100	100	0.40
Reemplazamiento de partes mecánicas y eléctricas.	200*	200	0.40
Esclusas			
Diques de puerto de salida.	1-10	-	-
Plataforma de esclusa.	10	-	0.15
Paredes de cámara de esclusa.	-	2.5**	0.15

* Pueden requerirse valores de iluminancia más elevados para tareas visuales difíciles.

** menos de 10 m de alto: 2 lux;
mas de 10 m de alto: 5 lux.

10.3. Equipo de alumbrado

Para información general sobre el equipo de alumbrado véase:
Parte A: Principios Generales.

Generalmente en el puerto y en las áreas de muelles hay una atmósfera salina; deben tomarse precauciones especiales para asegurar que el equipo de alumbrado resista a la corrosión.

Las luminarias para usar en instalaciones de alumbrado sumergible deben ser estancas al agua (grado IP68) o deben embeberse en compartimentos estancos al agua con vidrios frontales, que puedan soportar la presión del agua.

La naturaleza basta del trabajo del dique requiere que estos cristales frontales sean protegidos contra choque e impacto mecánico por rejillas especiales.

10.4. Diseño del alumbrado

10.4.1. Observaciones generales

Para recomendaciones generales para el diseño de instalaciones de alumbrado debe consultarse la parte A de esta Guía. Se ha dado en ella información válida sobre la elección de las lámparas, luminarias y sistemas de montaje para satisfacer los requisitos mencionados en 10.2.2.

Además para el campo de aplicación tratado en este documento deben considerarse los siguientes aspectos:



00401

- El uso del alumbrado local para proporcionar un modo económico de conseguir la iluminación recomendada necesaria en áreas pequeñas.
- Se recomienda un sistema de conmutación para obtener iluminancia reducida fuera de las horas de trabajo. La menor iluminancia no debe ser perjudicial para la seguridad. (véase: capítulo 11).
Algunas veces esto puede realizarse apagando un cierto número de lámparas. Sin embargo, debe tenerse cuidado en evitar puntos oscuros que podrían afectar adversamente a la seguridad.
- La instalación debería ser tal, que el fallo de una sola lámpara no interfiera significativamente con el trabajo o la seguridad en áreas críticas.
- El uso de alturas de montaje elevadas tiene ciertas ventajas; es menos probable que las luces oculten las luces de navegación o de balizamiento u originen confusión con las señales luminosas. Para la manipulación de cargas inflamables en muelles puede no plantearse la necesidad de usar luminarias antideflagrantes. La limitación tanto del deslumbramiento directo como del reflejado es más fácil de conseguir debido a que son posibles ángulos de incidencia relativamente pequeños.
- Puede requerirse la instalación de proyectores en grúas para facilitar las operaciones de carga y descarga suplementando el alumbrado propio de los barcos y evitando sombras que el brazo de la grúa puede producir durante su movimiento. Las luminarias montadas en brazos oscilantes o torres giratorias no están recomendadas porque pueden originar deslumbramiento excesivo y/o manchas móviles indeseadas de luz. La vibración de las grúas puede ser perjudicial para la vida de las lámparas.

10.4.2. Puertos

Las áreas de los puertos comprenden:

- * Vías navegables, amarre y atraque de los barcos,
- * Muelles, embarcaderos y diques con equipamiento para carga y descarga de cargueros; malecones que sobresalen en las vías navegables.
Se usan a menudo para manipular carga a granel tal como aceites, minerales o cereales.
- * En áreas tales como áreas de almacenamiento exterior en estaciones de embarcaderos y contenedores.
- * Almacenes
- * Sistemas de carreteras y ferrocarril para camiones y trenes.

En este capítulo sólo se tratan las dos primeras categorías a que se ha hecho referencia; para las otras categorías véanse respectivamente los capítulos 5 y 9.

La iluminación de muelles tiene tres funciones específicas:

- (i) facilitar el trabajo implicado en la carga, descarga, depósito y transporte de mercancías
- (ii) reducir el riesgo de accidentes y facilitar el tránsito de personal y vehículos a través de las áreas en cuestión
- (iii) mejorar la seguridad en las áreas alrededor de los barcos e instalaciones portuarias al igual que en áreas en las que se almacenan las mercancías.

Mientras la función (ii) no plantea demandas particularmente elevadas, las funciones (i) y (iii) requieren buenas condiciones para la percepción visual, bien debido al coste de mercancías relacionadas con la necesidad de llevar a cabo rápidamente las operaciones de carga y descarga de modo que no se haga esperar a la embarcación en el puerto.

10.4.3. Diques y astilleros

10.4.3.1. Observaciones generales

Los diques se usan para el trabajo de reparación y mantenimiento de barcos o para la construcción de barcos.

Pueden ser de dos tipos; diques secos y diques flotantes.

Debido al elevado coste de retirar de uso las embarcaciones, las reparaciones y el mantenimiento de los barcos ha de ser llevados a cabo en el menor tiempo posible; el trabajo de reparación es a menudo realizado durante el día y la noche.

Los diques para la construcción de barcos están asociados con áreas de talleres contiguas extensivas, en las que se prefabrican las piezas, áreas de almacenamiento de material y aparcamientos de coches. Un barco es contruido en un



dique hasta que alcanza la fase de botadura, después de lo cual pasa a un atraque próximo, en el que se completa el trabajo de construcción. Las actividades principales requieren el uso de diferentes tipos de grúas, que tienen un amplio barrido y una gran potencia de elevación con recorridos libres a lo largo del dique. A fin de introducir y sacar las embarcaciones de los diques secos, éstos han de ser inundados; así ha de hacerse una distinción entre las instalaciones de alumbrado de área y las instalaciones de alumbrado sumergibles.

10.4.3.2. Sistemas de iluminación recomendados

Para el alumbrado de áreas, especialmente en los diques o muelles de construcción de barcos el alumbrado de columnas altas ofrece una buena solución.

Para el alumbrado del propio dique pueden montarse proyectores a lo largo de los bordes superiores del mismo. Se requiere un grado elevado de la uniformidad y deben montarse generalmente luminarias a intervalos que no excedan de 1,5 veces la distancia entre la pared del dique y el casco de la embarcación.

Instalaciones de alumbrado sumergibles

Estas se usan para iluminar las quillas y las partes inferiores de los cascos de las embarcaciones. El alumbrado del costado del dique normal es usualmente inadecuado para desguazar, pintar y soldar las partes inferiores del casco.

Para estas tareas son necesarios proyectores, situados a lo largo de líneas longitudinales, una a cada lado del muelle a una altura de 1 m aproximadamente por encima del piso del muelle. La separación entre los proyectores es usualmente de 5 a 10 m. Las luminarias deben estar empotradas en las paredes del muelle.

10.4.4. Alumbrado de esclusas

Las esclusas comprenden los puertos secundarios y la propia esclusa con la cámara de esclusa y las compuertas de esclusa.

Iluminancia y adaptación en los puertos secundarios

Cuando un barco se aproxima a una esclusa por la noche el ojo del timonel está adaptado a un bajo nivel de iluminancia. Durante la aproximación, tiene lugar una adaptación gradual a la iluminancia de la plataforma de la esclusa.

Cuando el barco deja la cámara de la esclusa, la adaptación ha de tener lugar en el sentido opuesto, es decir desde la luz de los alrededores oscuros, lo que requiere más tiempo que la adaptación durante la aproximación. Así la iluminancia en la región exterior del puerto secundario ha de ser baja.

Se recomienda una iluminancia de al menos un 10% de la iluminancia en la plataforma de la esclusa al comienzo del alumbrado del puerto secundario, ascendiendo por pasos hacia la plataforma de esclusa. La longitud del área iluminada en el puerto secundario depende de condiciones locales tales como el tamaño de los embarcaderos flotantes, el tipo de barcos, etc. Se recomienda una longitud de al menos 150 m.

El posicionamiento simétrico de las fuentes de luz con respecto a la longitud de la esclusa proporciona un mejor guiado visual.



ALUMBRADOS Y NOTAS DE INTERÉS

ALUMBRADO DE FACHADAS EN EDIFICIOS CON ANAGRAMAS:

La iluminación de toda fachada de edificio que contenga algún anagrama de empresa privada o anuncio publicitario (no protegido por ley como bien de interés cultural), se considerará alumbrado publicitario o anuncio luminoso con los límites indicados en el artículo 14 del RD.243/92.

ALUMBRADO EN ZONA COMERCIAL (durante el horario de apertura al público):

- ENTRADA PRINCIPAL: El alumbrado peatonal en la zona inmediatamente exterior a la entrada principal del establecimiento comercial (radio inferior a 10m de la puerta) podrá tener un nivel máximo de iluminación media de 100 lux y considerado alumbrado de transición entre el exterior y el interior.
- CERRAMIENTOS TRASLÚCIDOS: No puede iluminarse directamente con proyectores cerramientos traslúcidos que emitan luz sobre el horizonte.

ESTACIONES DE SERVICIO (GASOLINERAS):

- LETREROS LUMINOSOS:
Las estaciones de servicio que permanezcan abiertas después de las 12h de la noche, no en zona E1 o ZAS, podrán tener encendido un anuncio publicitario iluminando exclusivamente los precios de los carburantes y la palabra "ABIERTO" (dimensiones normales) siempre y cuando el brillo medio del letrero no supere las 200cd/m² en zona urbana y 100cd/m² en zona descampada (generalmente el tótem de la estación). El resto de la superficie del letrero y los demás letreros se apagarán a partir de las 24h (en cornisa de la marquesina, en fachada, etc.).
- ALUMBRADO BAJO MARQUESINA EN ZONA DE SURTIDORES:
El alumbrado exclusivo de la zona de surtidores bajo marquesina no podrá superar los siguientes niveles medios mantenidos de iluminación en función del tipo de lámpara utilizada:
 1. Hasta un máximo de 200 lux: Vapor de sodio de alta/baja presión. Normalmente corresponde a una matriz de 5 x 5 metros con lámparas de V.S.A.P. de 150 vatios de alto rendimiento cromático (12.500 lúmenes y Ra=65%) a una altura de 6 metros empotrados bajo la marquesina.
 2. Hasta un máximo de 100 lux: Vapor de mercurio con halogenuros metálicos de luz cálida cuya radiancia espectral cumpla los requisitos del artículo 7 del R.D. 243/92. Normalmente corresponde a una matriz de 5 x 5 metros con lámparas de H.M. de 70 vatios de color cálido (6.000 lúmenes y < 3.000 °K) a una altura de 6 metros empotrados bajo la marquesina. La lámpara deberá disponer de certificado emitido por laboratorio homologado que certifique el cumplimiento del mencionado artículo.



- VIALES DE ACCESO:

Su nivel luminotécnico será el mismo que el de la vía desde la que se accede. Otro valor de referencia es asignarle parámetros utilizados para una arteria urbana. En todos los casos, deberán respetarse las reducciones de flujo de las vías públicas de acceso a partir de las 12h de la noche o, en su caso, con niveles medios de 10-15 lux en caso de gasolinera abierta y de 5-10 lux si permanece cerrada al público. Estos mismos valores se utilizarán para el diseño de la zona de aparcamiento y maniobra (exceptuando los alumbrados puntuales en las zonas de llenado o descarga de combustible con unos 100 lux durante las labores de trasiego).

NIVELES RECOMENDADOS PARA LA ILUMINACIÓN DE INSTALACIONES DEPORTIVAS (UNE-EN-12193)

Resumen de los casos típicos:

CASOS TÍPICOS DE APLICACION NORMA UNE-EN-12193 (1999)			ILUMINANCIA	
TIPO	TIPO DE DEPORTE	CATEGORIA	MEDIA	Emin/Emed
A.21	FUTBOL, BALONMANO BALONCESTO, VOLEIBOL	Nacional	500	0,7
		Regional-Local	200	0,6
		Local-Entrenamiento	75	0,5
A.26	GOLF (en zona de hoyos)	Entrenamiento-Local	100	0,8
A.27	NATAACION	Nacional	500	0,7
		Regional-Local	300	0,7
		Local-Entrenamiento	200	0,5
A.16	TENIS	Nacional	500	0,7
		Regional-Local	300	0,7
		Local-Entrenamiento	200	0,6
A.20	PETANCA	Nacional	200	0,7
		Regional-Local	100	0,7
		Local-Entrenamiento	50	0,5

Consultar Norma para otros parámetros y tipos de deporte.



SITUACIÓN DE PROYECTO	TIPO DE VÍA Y USO	CLASE / CRITERIOS	LUMINANCIA cd/m²			LUMINANCIA lux			
			MEDIA	MAX.	Uo	MEDIA	MAX.	Uo	
A1	AUTORISTAS/AUTOVIAS	ME1 IMD > 25.000 (<= 3 salidas/km)	2	3	>= 0.4	CE1	30	72	>= 0.4
		ME2 IMD > 25.000 (<= 3 salidas/km)	1.5	2.3	>= 0.4	CE2	20	48	>= 0.4
		ME3a IMD < 25.000 (<= 3 salidas/km)	1	1.5	>= 0.4	CE3	15	36	>= 0.4
		ME1 IMD < 15.000	1	1.5	>= 0.4	CE3	15	36	>= 0.4
A1	CARRETERAS UNICA CALZADA DOBLE SENTIDO VIAS RAPIDAS	ME2 IMD > 15.000 (<= 3 salidas/km)	1.5	2.3	>= 0.4	CE2	20	48	>= 0.4
		ME1 IMD > 15.000 (<= 3 salidas/km)	2	3	>= 0.4	CE1	30	72	>= 0.4
		ME3a IMD < 15.000 (<= 3 salidas/km)	1	1.5	>= 0.4	CE3	15	36	>= 0.4
		ME2 IMD < 15.000 (<= 3 salidas/km)	1.5	2.3	>= 0.4	CE2	20	48	>= 0.4
A2	CARRETERAS SIN AGERAS, CARRETERAS RURALES	ME3a IMD > 7.000 (<= 3 salidas/km)	1	1.5	>= 0.4	CE3	15	36	>= 0.4
		ME3a IMD > 7.000 (<= 3 salidas/km)	1	1.5	>= 0.4	CE3	15	36	>= 0.4
		ME4a IMD < 7.000 poco tránsito	0.75	1.1	>= 0.4	CE4	10	24	>= 0.4
		ME1 IMD > 25.000 (<= 3 salidas/km)	2	3	>= 0.4	CE1	30	72	>= 0.4
A3	CARRETERAS RAPIDAS EN CIUDADES, CIRCVNALACIONES, RONDAS	ME2 IMD > 25.000 (<= 3 salidas/km)	1.5	2.3	>= 0.4	CE2	20	48	>= 0.4
		ME2 IMD > 15.000 y < 25.000	1	1.5	>= 0.4	CE3	15	36	>= 0.4
		ME3b IMD > 7.000 y < 15.000	1	1.5	>= 0.4	CE3	15	36	>= 0.4
		ME4 IMD < 7.000	0.75	1.1	>= 0.4	CE4	10	24	>= 0.4
B1	CALLETS Y FONDOS DE SACO (ITC-EA-02-3.7)	ME2 IMD > 7.000 comercial/turístico	1.5	2.3	>= 0.4	CE2	20	48	>= 0.4
		ME3C IMD > 7.000	1	1.5	>= 0.4	CE3	15	36	>= 0.4
		ME4b IMD < 7.000	0.75	1.1	>= 0.4	CE4	10	24	>= 0.4
		ME3C IMD > 7.000	1	1.5	>= 0.4	CE3	15	36	>= 0.4
		ME4b IMD < 7.000	0.75	1.1	>= 0.4	CE4	10	24	>= 0.4
B2	CAMINOS/CARRETERAS RURALES	ME5 IMD < 4.000 poco tránsito	0.5	0.8	>= 0.4	CE5	7.5	18	>= 0.4
		Alto flujo: comercial, turístico, ocio	-	-	-	CE2	20	48	>= 0.4
		Normal	-	-	-	CE3	15	36	>= 0.4
		Bajo flujo: peatonal	-	-	-	CE4	10	24	>= 0.4
		Muy alto flujo: comercial, turístico, ocio	-	-	-	CE2	20	48	>= 0.4
D1/D2	AREAS DE APARCAMIENTOS, ESTACIONES DE GUAGUAS	Alto flujo peatonal: comercial	-	-	-	S1	15	36	>= 0.2
		Alto/medio flujo: peatonal: zona algo comercial	-	-	-	S2	10	24	>= 0.2
		Normal	-	-	-	S3	7.5	18	>= 0.2
		Bajo flujo: peatonal	-	-	-	S4	5	12	>= 0.2
		Alto flujo peatonal, comercial y turístico	-	-	-	CE2	20	48	>= 0.4
D3/D4	CALLETS RESIDENCIALES CON VEHICULOS Y CON ACERAS A LO LARGO DE LA CALZADA	Alto flujo peatonal (comercial-octio)	-	-	-	S1	15	36	>= 0.2
		Normal urbano	-	-	-	S2	10	24	>= 0.2
		Bajo flujo peatonal	-	-	-	S3	7.5	18	>= 0.2
		Muy Bajo flujo peatonal	-	-	-	S4	5	12	>= 0.2
		Zona Residencial (ITC-EA-02-3.1/3.3)	-	-	-	CE2	20	48	>= 0.4
E1/E2	PLAZAS URBANAS Y ZONAS PEATONALES	Zona Comercial (ITC-EA-02-3.1/3.3)	-	-	-	CE1	30	72	>= 0.4
		Alto Riesgo	-	-	-	-	50	120	>= 0.2
		Riesgo Elevado	-	-	-	-	20	48	>= 0.2
		Riesgo normal	-	-	-	-	5	13	>= 0.1
		Exteriores y mixtos	-	-	-	-	10	24	>= 0.4
-	PASARELAS PEATONALES, ESCALERAS, RAMPAS, PASOS DE PEATONES	Escaleras	-	-	-	-	10	24	>= 0.4
		Resto de áreas peatonales	-	-	-	-	5	13	>= 0.4
		Alto Riesgo	-	-	-	-	50	120	>= 0.2
		Riesgo Elevado	-	-	-	-	20	48	>= 0.2
		Riesgo normal	-	-	-	-	5	13	>= 0.1
NOTAS:	EXTERIOR DE EDIFICIOS (RD 314/2006 SU 4.1)	Estos valores no deben superarse en más de un 20% tanto antes como después de media noche. Después de las 24h todas las instalaciones con clases superiores a las ME4/CE5/S3 deben reducir su flujo, al menos, a la clase inmediatamente inferior, a no ser que se justifique no realizarlo por razones de seguridad.							
		Para las clases "ME" se utilizará la correspondiente "CE" en cuanto a límites de niveles, pudiendo utilizar el asfalto tipo CIE-R3 para obtener los valores de uniformidad. En caso de disponer de la tabla de reflexión específica de la instalación deberá usar esta en su caso.							
		En las situaciones de proyecto "D" podrá considerarse el valor medio especificado aplicado a toda la superficie útil (calzadas + aceras) cuando el ancho de la acera es inferior a la mitad del de la calzada. El factor de mantenimiento no será inferior a 0.8 (0.75 en zona sometida a influencia directa del mar).							

LEGGE REGIONALE 27 MARZO 2000 - N. 17
MISURE URGENTI IN TEMA DI RISPARMIO ENERGETICO AD USO DI ILLUMINAZIONE ESTERNA E
DI LOTTA ALL'INQUINAMENTO LUMINOSO

IL CONSIGLIO REGIONALE
ha approvato
IL COMMISSARIO DI GOVERNO
ha apposto il visto
IL PRESIDENTE DELLA GIUNTA REGIONALE
promulga

Articolo 1
(Finalità)

1. La presente legge, ai fini di quanto stabilito dall'articolo 3, comma 3, punti 7, 8, 9 dello Statuto della Regione Lombardia, ha per finalità la riduzione sul territorio regionale dell'inquinamento luminoso e dei consumi energetici da esso derivanti e, e conseguentemente la tutela dell'attività di ricerca scientifica e divulgativa svolta dagli osservatori astronomici professionali di rilevanza regionale o provinciale o di altri osservatori scientifici nonché la conservazione degli equilibri ecologici sia all'interno che all'esterno delle aree naturali protette.
2. Ai fini della presente legge viene considerato inquinamento luminoso dell'atmosfera ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolar modo, se orientata al di sopra della linea dell'orizzonte.

Articolo 2
(Compiti della Regione)

1. La Regione incentiva l'adeguamento degli impianti di illuminazione esterna esistenti anche in relazione alle leggi 9 gennaio 1991, n. 9 (Norme per l'attuazione del nuovo Piano energetico nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali) e 9 gennaio 1991, n. 10 (Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia) per l'attuazione del Piano energetico nazionale.
2. Tutti i capitoli relativi all'illuminazione pubblica e privata devono essere conformi alle finalità della presente legge.

Articolo 3
(Compiti delle provincie)

1. Le provincie:
 - a) esercitano il controllo sul corretto e razionale uso dell'energia elettrica da illuminazione esterna e provvedono a diffondere i principio dettati dalla presente legge;
 - b) curano la redazione e la pubblicazione dell'elenco dei comuni nel cui territorio esista un osservatorio astronomico da tutelare; tale elenco comprende anche i comuni al di fuori del territorio provinciale purchè ricadenti nelle fasce di protezione indicate.

Articolo 4
(Compiti dei comuni)

1. I comuni:
 - a) si dotano, entro tre anni dalla data di entrata in vigore della presente legge, di piani dell'illuminazione che disciplinano le nuove installazioni in accordo con la presente legge, fermo restando il dettato di cui alla lettera d) ed all'articolo 6, comma 1;
 - b) Sottopongono al regime dell'autorizzazione da parte del Sindaco tutti gli impianti di illuminazione esterna, anche a scopo pubblicitario; a tal fine il progetto deve essere redatto da una delle figure professionali previste per tale settore impiantistico; dal progetto deve risultare la rispondenza dell'impianto ai requisiti della presente legge e, al termine dei lavori, l'impresa installatrice rilascia al comune la dichiarazione di conformità dell'impianto realizzato alle norme di cui agli articoli 6 e 9, oppure, ove previsto, il certificato di collaudo in analogia con il disposto della legge 5 marzo 1990, n. 46 (Norma per la sicurezza degli impianti), per gli impianti esistenti all'interno degli edifici; la procedura sopradescritta si applica anche agli impianti di illuminazione pubblica; la cura e gli oneri dei collaudi sono a carico dei committenti degli impianti;
 - c) provvedono, tramite controlli periodici di propria iniziativa o su richiesta di osservatori astronomici, o di altri osservatori scientifici, a garantire il rispetto e l'applicazione della presente legge sui territori di propria competenza da parte di soggetti pubblici e privati; emettono apposite ordinanze, entro sessanta giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge, per la migliore applicazione dei seguenti principi per il contenimento sia dell'inquinamento luminoso che dei consumi energetici derivanti dall'illuminazione esterna, con specifiche indicazioni ai fini del rilascio delle licenze edilizie;

- d) provvedono, anche su richiesta degli osservatori astronomici o di altri osservatori scientifici, alla verifica dei punti luce non corrispondenti ai requisiti previsti dalla presente legge, disponendo affinché essi vengano modificati o sostituiti o comunque uniformati ai criteri stabiliti, entro 1 anno dalla notifica della constatata inadempienza, e, decorsi questi, improrogabilmente entro sessanta giorni;
- e) applicano, ove previsto, le sanzioni amministrative di cui all'articolo 8 impiegandone i relativi proventi per i fini di cui al medesimo articolo.

Articolo 5

(Disposizioni in materia di osservatori astronomici)

1. Sono tutelati dalla presente legge gli osservatori astronomici ed astrofisici statali, quelli professionali e non professionali di rilevanza regionale o provinciale che svolgano ricerca scientifica e/o divulgazione.
2. La Giunta Regionale, entro centoventi giorni dall'entrata in vigore della presente legge:
- a) aggiorna l'elenco degli osservatori di cui all'art.10 anche su proposta della Società Astronomica Italiana e dell'Unione Astrofili Italiani;
- b) provvede con apposita delibera a determinarne la relativa fascia di rispetto.
3. La Giunta Regionale provvede inoltre, entro centoventi giorni dall'entrata in vigore della presente legge, ad individuare mediante cartografia in scala adeguata le zone di protezione, inviando ai comuni interessati copia della documentazione cartografica.
4. Gli osservatori astronomici:
- a) segnalano alle autorità territoriali competenti le sorgenti di luce non rispondenti ai requisiti della presente legge, richiedendone l'intervento affinché esse vengano modificate o sostituite o comunque uniformate ai criteri stabiliti;
- b) collaborano con gli enti territoriali per una migliore e puntuale applicazione della presente legge secondo le loro specifiche competenze.

Articolo 6

(Regolamentazione delle sorgenti di luce e dell'utilizzazione di energia elettrica da illuminazione esterna)

1. Per l'attuazione di quanto previsto dall'articolo 1, dalla data di entrata in vigore della presente legge, tutti gli impianti di illuminazione esterna, pubblica e privata in fase di progettazione o di appalto sono eseguiti a norma antinquinamento luminoso e a ridotto consumo energetico; per quelli in fase di esecuzione, è prevista la sola obbligatorietà di sistemi non disperdenti luce verso l'alto, ove possibile nell'immediato, fatto salvo il successivo adeguamento, secondo i criteri di cui al presente articolo.
2. Sono considerati antinquinamento luminoso e a ridotto consumo energetico solo gli impianti aventi un'intensità luminosa massima di 0 cd per 1000 lumen a 90° ed oltre; gli stessi devono essere equipaggiati di lampade con la più alta efficienza possibile in relazione allo stato della tecnologia; gli stessi inoltre devono essere realizzati in modo che le superfici illuminate non superino il livello minimo di luminanza media mantenuta previsto dalle norme di sicurezza, qualora esistenti, e devono essere provvisti di appositi dispositivi in grado di ridurre, entro le ore ventiquattro, l'emissione di luci degli impianti in misura non inferiore al trenta per cento rispetto al pieno regime di operatività. La riduzione va applicata qualora le condizioni d'uso della superficie illuminata siano tali che la sicurezza non ne venga compromessa; le disposizioni relative ai dispositivi per la sola riduzione dei consumi sono facoltative per le strutture in cui vengano esercitate attività relative all'ordine pubblico, alla amministrazione della giustizia e della difesa.
3. E' concessa deroga per le sorgenti di luce internalizzate e quindi non inquinanti, per quelle con emissione non superiore ai 1500 lumen cadauna in impianti di modesta entità (fino a tre centri con singolo punto luce), per quelle di uso temporaneo che vengano spente entro le ore venti nel periodo di ora solare e entro le ore ventidue nel periodo di ora legale.
4. L'illuminazione delle insegne non dotate di illuminazione propria deve essere realizzata dall'alto verso il basso.
5. L'uso di riflettori, fari e torri-faro deve uniformarsi, su tutto il territorio regionale, a quanto disposto dall'articolo 9.
6. Nell'illuminazione di impianti sportivi e grandi aree di ogni tipo devono essere impiegati criteri e mezzi per evitare fenomeni di dispersione di luce verso l'alto e al di fuori dei suddetti impianti.
7. La modifica dell'inclinazione delle sorgenti di luce secondo i criteri indicati nel comma 2 del presente articolo deve essere attuata entro diciotto mesi dall'entrata in vigore della presente legge.
8. Le case costruttrici, importatrici o fornitrici devono certificare, tra le caratteristiche tecniche delle sorgenti di luce commercializzate, la loro rispondenza alla presente legge mediante apposizione sul prodotto della dicitura "ottica antinquinamento luminoso e a ridotto consumo ai sensi delle leggi della Regione Lombardia", e allegare, inoltre, le raccomandazioni di uso corretto.
9. E' fatto espresso divieto di utilizzare, per meri fini pubblicitari fasci di luce roteanti o fissi di qualsiasi tipo.
10. Nell'illuminazione di edifici e monumenti devono essere privilegiati sistemi di illuminazione dall'alto verso il basso. Solo nel caso in cui ciò non risulti possibile e per soggetti di particolare e comprovato valore architettonico, i fasci di luce devono rimanere di almeno un metro al di sotto del bordo superiore della superficie da illuminare e,

comunque, entro il perimetro degli stessi provvedendo allo spegnimento parziale o totale, o alla diminuzione di potenza impiegata entro le ore ventiquattro.

Articolo 7
(Norme Finanziarie)

1. All'autorizzazione delle spese previste dalla presente legge si provvederà con successivo provvedimento di legge.

Articolo 8
(Sanzioni per le zone tutelate)

1. Chiunque, nelle fasce di rispetto dei siti degli osservatori tutelati dalla presente legge, impiega impianti e sorgenti di luce non rispondenti ai criteri indicati negli articoli 6 e 9 incorre, qualora non modifichi gli stessi entro sessanta giorni dall'invito dei Comandi di polizia municipale del comune competente, nella sanzione amministrativa da lire 400.000 a lire 1.200.000.

2. Si applica la sanzione amministrativa da lire 700.000 a lire 2.100.000 qualora detti impianti costituiscano notevole fonte di inquinamento luminoso, secondo specifiche indicazioni che sono fornite dagli osservatori astronomici competenti, e vengano utilizzati a pieno regime per tutta la durata della notte anche per semplici scopi pubblicitari o voluttuari.

3. I proventi di dette sanzioni sono impiegati dai comuni per l'adeguamento degli impianti di illuminazione pubblica ai criteri di cui alla presente legge.

4. I soggetti pubblici, ivi compresi i comuni, che omettano di uniformarsi ai criteri di cui alla presente legge, entro i periodi di tempo indicati, sono sospesi dal beneficio di riduzione del costo dell'energia elettrica impiegata per gli impianti di pubblica illuminazione fino a quando non si adeguano alla stessa e, entro e non oltre quattro anni, alla normativa vigente.

5. Il provvedimento di cui al comma 4 è adottato con deliberazione della Giunta Regionale, previa ispezione e su segnalazione degli osservatori astronomici territorialmente competenti.

Articolo 9
(Disposizioni relative alle zone tutelate)

1. Entro quattro anni dalla data di entrata in vigore della presente legge tutte le sorgenti di luce non rispondenti agli indicati criteri e ricadenti nelle fasce di rispetto devono essere sostituite e modificate in maniera tale da ridurre l'inquinamento luminoso e il consumo energetico mediante l'uso di sole lampade al sodio di alta e bassa pressione.

2. Per l'adeguamento degli impianti luminosi di cui al comma 1, i soggetti privati possono procedere, in via immediata, all'installazione di appositi schermi sulla armatura, ovvero alla sola sostituzione dei vetri di protezione delle lampade, nonché delle stesse, purché assicurino caratteristiche finali analoghe a quelle previste dal presente articolo e dall'articolo 6.

3. Per la riduzione del consumo energetico, i soggetti interessati possono procedere, in assenza di regolatori del flusso luminoso, allo spegnimento del 50 per cento delle sorgenti di luce entro le ore ventitre nel periodo di ora solare e entro le ore ventiquattro nel periodo di ora legale. Le disposizioni relative alla diminuzione dei consumi energetici sono facoltative per le strutture in cui vengono esercitate attività relative all'ordine pubblico e all'amministrazione della giustizia e della difesa.

4. Tutte le sorgenti di luce altamente inquinanti già esistenti, come globi, lanterne o similari, devono essere schermate o comunque dotate di idonei dispositivi in grado di contenere e dirigere a terra il flusso luminoso comunque non oltre 15 cd per 1000 lumen a 90° ed oltre, nonché di vetri di protezione trasparenti. E' concessa deroga, secondo specifiche indicazioni concordate tra i comuni interessati e gli osservatori astronomici competenti per le sorgenti di luce internalizzate e quindi, in concreto, non inquinanti, per quelle con emissione non superiore a 1500 lumen cadauna (fino a un massimo di tre centri con singolo punto luce), per quelle di uso temporaneo o che vengano spente normalmente entro le ore 20 nel periodo di ora solare e entro le ore 22 nel periodo di ora legale, per quelle di cui sia prevista la sostituzione entro quattro anni dalla data di entrata in vigore della presente legge. Le insegne luminose non dotate di illuminazione propria devono essere illuminate dall'alto verso il basso. In ogni caso tutti i tipi di insegne luminose di non specifico e indispensabile uso notturno deve essere spente entro le ore ventitre ed entro le ore ventidue nel periodo di ora solare.

5. Fari, torri faro e riflettori illuminanti parcheggi, piazzali, cantieri, svincoli ferroviari e stradali, complessi industriali, impianti sportivi e aree di ogni tipo devono avere, rispetto al terreno, un'inclinazione tale, in relazione alle caratteristiche dell'impianto, da non inviare oltre 0 cd per 1000 lumen a 90° ed oltre.

6. La modifica dell'inclinazione delle sorgenti di luce, secondo i criteri indicati, deve essere applicata entro sei mesi dalla data di entrata in vigore della presente legge.

Articolo 10
(Elenco degli osservatori)

00405 VTA

1. Gli osservatori astronomici, astrofisici professionali da tutelare:

- Osservatorio astronomico di Merate (LC)

2. Gli osservatori astronomici non professionali di grande rilevanza culturale, scientifica e popolare d'interesse regionale da tutelare sono:

- Osservatorio astronomico Serafino Zani di Lumezzane (BS)
- Osservatorio astronomico G.V. Schiaparelli di Campo dei Fiori (VA)
- Osservatorio astronomico di Sormano (CO)

3. Gli osservatori astronomici, astrofisici non professionali di rilevanza provinciale che svolgono attività scientifica e/o divulgazione da tutelare sono:

- Osservatorio Astronomico delle Prealpi Orobiche di Aviatico (BG)
- Osservatorio Astronomico "Presolana" di Castione della Presolana (BG)
- Osservatorio Astronomico Sharru di Covo (BG)
- Civica Specola Cidnea di Brescia (BS)
- Osservatorio privato di Bassano Bresciano (BS)
- Osservatorio di Cima Rest - Masaga (BS)
- Osservatorio sociale del Gruppo Astrofili Cremonesi di Cremona (CR)
- Osservatorio Pubblico di Soresina (CR)
- Osservatorio Astronomico provinciale del Lodigiano (LO)
- Osservatorio sociale "A. Grosso" di Brugherio (MI)
- Osservatorio Città di Legnano (MI)
- Osservatorio Astronomico Pubblico di Gorgo San Benedetto Po (MN)
- Osservatorio Pubblico Giuseppe Piazzi di Ponte in Valtellina (SO)

Articolo 11

(Disposizioni finali)

1. Entro centottanta giorni dall'entrata in vigore della presente legge la Giunta Regionale emana i criteri di applicazione della medesima.
2. E' concessa facoltà, anche ai comuni il cui territorio non ricada nelle fasce di rispetto di cui all'articolo 9, comma 1, di adottare integralmente i criteri previsti dall'articolo medesimo mediante l'approvazione di appositi regolamenti.

Articolo 12

(Entrata in vigore)

La presente legge entra in vigore sessanta giorni dopo la sua pubblicazione sul Bollettino ufficiale della Regione Lombardia.

La presente legge regionale è pubblicata nel bollettino ufficiale della Regione.

E' fatto obbligo a chiunque spetti di osservarla e farla osservare come legge della Regione lombarda.

Milano, 27 Marzo 2000

Roberto Formigoni

(approvata dal consiglio regionale nella seduta del 23 Febbraio 2000 e vistata dal commissario di governo con nota del 21 Marzo 2000, prot. n.23102/617)

Legge Regionale 21 Dicembre 2004 n° 38

Publicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia
2° suppl. Ordinaria al n° 52 - 24 Dicembre 2004.

MODIFICHE E INTEGRAZIONI ALLA LEGGE REGIONALE 27 MARZO 2000, N. 17 (MISURE URGENTI IN MATERIA DI RISPARMIO ENERGETICO AD USO ILLUMINAZIONE ESTERNA E DI LOTTA ALL'INQUINAMENTO LUMINOSO) ED ULTERIORI DISPOSIZIONI

Approvata nella seduta del 15 dicembre 2004

Art. 1**(Sostituzione dell'articolo 1 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17)**

1. L'articolo 1 della legge regionale 27 marzo 2000 n. 17 è sostituito dal seguente:

“Art. 1 (Finalità)

1. Sono finalità della presente legge:

- a) la riduzione dell'inquinamento luminoso ed ottico sul territorio regionale attraverso il miglioramento delle caratteristiche costruttive e dell'efficienza degli apparecchi, l'impiego di lampade a ridotto consumo ed elevate prestazioni illuminotecniche e l'introduzione di accorgimenti antiabbagliamento;*
- b) la razionalizzazione dei consumi energetici negli apparecchi di illuminazione, in particolare da esterno, l'ottimizzazione dei costi di esercizio e di manutenzione degli stessi;*
- c) la riduzione dell'affaticamento visivo e il miglioramento della sicurezza per la circolazione stradale;*
- d) la tutela delle attività di ricerca scientifica e divulgativa degli osservatori astronomici ed astrofisici, professionali e non, di rilevanza nazionale, regionale o provinciale e di altri osservatori individuati dalla Regione;*
- e) la conservazione e la tutela degli equilibri ecologici sia all'interno che all'esterno delle aree naturali protette.”.*

Art. 2**(Inserimento dopo l'articolo 1 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 dell'articolo 1 bis)**

1. Dopo l'articolo 1 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 è inserito l'articolo 1 bis:

“Art. 1 bis (Definizioni)

1. Ai fini della presente legge si intende:

- a) per inquinamento luminoso, ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolare, oltre il piano dell'orizzonte;*
- b) per inquinamento ottico o luce intrusiva, ogni forma di irradiazione artificiale diretta su superfici o cose cui non è funzionalmente dedicata o per le quali non è richiesta alcuna illuminazione;*
- c) per piano dell'illuminazione, il piano redatto dalle amministrazioni comunali per il censimento della consistenza e dello stato di manutenzione insistenti sul territorio amministrativo di competenza e per la disciplina delle nuove installazioni, nonché dei tempi e delle modalità di adeguamento, manutenzione o sostituzione di quelle esistenti;*
- d) per osservatorio astronomico ed astrofisico, la costruzione adibita in maniera specifica all'osservazione astronomica a fini scientifici e divulgativi, con strumentazione dedicata all'osservazione notturna;*
- e) per fascia di rispetto, l'area circoscritta all'osservatorio la cui estensione è determinata dalla categoria dell'osservatorio medesimo;*

- f) *per aree naturali protette, gli ambiti territoriali ad elevato valore ambientale e socio-culturale interessati da misure di protezione a valenza nazionale, regionale e locale.*”.

Art. 3

(Integrazione dell'articolo 2 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17)

1. Dopo il comma 2 dell'articolo 2 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 sono inseriti i commi 2 bis, 2 ter e 2 quater:

“2 bis. La Regione, in applicazione delle linee di indirizzo del Programma Energetico Regionale, approvato con deliberazione della Giunta regionale 21 marzo 2003, n. VII/12467, promuove il ricorso all'istituto del finanziamento tramite terzi per la progettazione, la realizzazione e la gestione degli impianti di illuminazione esterna, attraverso la redazione e la divulgazione di documentazione di gara atta a consentire la adozione di nuove e migliorative soluzioni contrattuali.

2 ter. La Regione con il concorso delle associazioni rappresentative degli interessi per il contenimento dell'inquinamento luminoso, delle categorie e degli enti/organismi a diverso titolo interessati dalle presenti disposizioni, incentiva la formazione di figure professionali dedicate e l'aggiornamento degli operatori di settore, promuovendo, attraverso atti di programmazione negoziata, corsi di studio e programmi nelle diverse sedi didattiche della Lombardia.

2 quater. La Regione promuove forme di aggregazione tra i comuni con l'obiettivo di facilitare la migliore applicazione dei dettati normativi, anche in termini di economicità degli interventi.”.

Art. 4

(Integrazione dell'articolo 3 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17)

1. Dopo la lettera b) del comma 1 dell'articolo 3 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 sono inserite le lettere b-bis, b-ter e b-quater:

“b-bis) adeguano gli impianti di illuminazione esterna, per i quali si siano generate situazioni di competenza diretta, ai criteri della legislazione regionale di settore;

b-ter) esercitano le funzioni di vigilanza sui comuni circa l'ottemperanza delle disposizioni di cui alla presente legge;

b-quater) comminano, in presenza di accertate inadempienze dei comuni, le sanzioni amministrative previste all'articolo 8, comma 3.”.

Art. 5

(Sostituzione dell'articolo 4 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17)

1. L'articolo 4 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 è sostituito dal seguente:

“Art. 4 (Compiti dei comuni)

1. I comuni:

- a) si dotano entro e non oltre il 31 dicembre 2005 dei piani di illuminazione di cui alla lettera c) del comma 1 dell'articolo 1 bis;
- b) provvedono a integrare lo strumento urbanistico generale con il piano dell'illuminazione;
- c) promuovono forme di aggregazione per la migliore applicazione dei dettati normativi;
- d) rilasciano, con decreto del sindaco, l'autorizzazione per tutti gli impianti di illuminazione esterna, anche a scopo pubblicitario, per i quali non ricorrano gli estremi della deroga di cui all'articolo 6, comma 3. A tal fine il progetto illuminotecnico dell'opera da realizzare deve essere redatto da figure professionali specialistiche che ne attestino inequivocabilmente la rispondenza ai requisiti della presente legge, anche mediante la produzione della documentazione sulle caratteristiche costruttive e prestazionali degli apparecchi e delle lampade, rilasciata da riconosciuto istituto di certificazione. A fine lavori l'impresa installatrice deve produrre al committente, unitamente alla certificazione di collaudo, la dichiarazione di conformità alle disposizioni della presente legge dell'impianto realizzato in relazione al progetto approvato;
- e) emettono comunicati per la corretta progettazione e realizzazione degli impianti di illuminazione, ai fini dell'autorizzazione sindacale;
- f) provvedono direttamente, ovvero su richiesta degli osservatori astronomici o delle associazioni rappresentative degli interessi per il contenimento dell'inquinamento luminoso, a verificare il rispetto e l'applicazione dei dettati legislativi sul territorio amministrativo di competenza;
- g) adottano, nei casi di accertate inadempienze sia da parte di soggetti privati che pubblici, ordinanze sindacali per uniformare gli impianti ai criteri legislativi stabiliti, entro il termine di dodici mesi dalla data di accertamento; nello stesso periodo gli impianti devono essere utilizzati in modo da limitare al massimo il flusso luminoso, ovvero spenti nei casi in cui non si pregiudichino le condizioni di sicurezza privata e pubblica;
- h) applicano le sanzioni amministrative di cui all'articolo 8, comma 1, impiegandone i relativi proventi per i fini di cui al medesimo articolo.

2. I comuni, per gli adempimenti di competenza, possono avvalersi del supporto tecnico dell'ARPA della Lombardia.”.

Art. 6

(Sostituzione dell'articolo 5 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17)

1. L'articolo 5 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 è sostituito dal seguente:

“Art. 5 (Disposizioni in materia di osservatori astronomici)

1. Sono tutelati dalla presente legge gli osservatori astronomici ed astrofisici statali, quelli professionali e non professionali di rilevanza regionale o provinciale che svolgano ricerca e divulgazione scientifica, nonché le aree naturali protette di cui alla lettera f) del comma 1 dell'articolo 1 bis.

2. Gli osservatori astronomici e le associazioni rappresentative degli interessi per il contenimento dell'inquinamento luminoso collaborano con gli enti territoriali per una migliore e puntuale applicazione della presente legge, secondo le loro specifiche competenze, e segnalano alle autorità territoriali competenti le situazioni di mancato rispetto della legge.

3. La Giunta regionale aggiorna annualmente l'elenco degli osservatori, anche su proposta della Società Astronomica Italiana e dell'Unione Astrofili Italiani o su richiesta degli osservatori stessi.

4. La Giunta regionale provvede inoltre ad individuare mediante cartografia in scala adeguata le fasce di rispetto, inviando ai comuni interessati copia della documentazione cartografica.

5. Le fasce di rispetto per le diverse categorie di osservatori, intese come raggio dall'osservatorio considerato, vengono definite come segue:

- a) non meno di 25 chilometri per gli osservatori di rilevanza nazionale;
- b) non meno di 15 chilometri per gli osservatori di rilevanza regionale;
- c) non meno di 10 chilometri per gli osservatori di rilevanza provinciale.

6. Sulla base delle esperienze tecnico – scientifiche maturate in ambito nazionale e internazionale la Giunta regionale, con propria deliberazione, può ampliare le fasce di rispetto stabilite nel comma 5.

7. Le fasce di rispetto delle aree naturali protette di cui alla lettera f) del comma 1 dell'articolo 1 bis, coincidono con i relativi confini esterni.”.

Art. 7

(Modifiche all'articolo 6 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17)

1. Al comma 4 dell'articolo 6 della legge regionale 27 marzo 2000, n.17, è aggiunto il seguente periodo:

“Per le insegne dotate di illuminazione propria, il flusso totale emesso non deve superare i 4.500 lumen.”.

2. Al comma 6 dell'articolo 6 della legge regionale 27 marzo 2000, n.17 è aggiunto il seguente periodo:

“E' concessa deroga alle disposizioni del comma 2 in termini di intensità luminosa massima, per gli impianti sportivi con oltre 5.000 posti a sedere, a condizione che gli apparecchi di illuminazione vengano spenti entro le ore ventiquattro e siano comunque dotati delle migliori applicazioni per il contenimento del flusso luminoso verso l'alto ed all'esterno degli impianti medesimi.”.

3. Il comma 7 dell'articolo 6 della legge regionale 27 marzo 2000, n.17 è sostituito dal seguente:

“7. La modifica dell'inclinazione degli apparecchi per l'illuminazione, sia esterni che interni alle fasce di rispetto, deve essere effettuata entro e non oltre il 31 dicembre 2006; la presente disposizione si applica anche agli impianti di competenza delle province.”.

4. Il comma 8 dell'articolo 6 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 è sostituito dal seguente:

“8. Le case costruttrici, importatrici o fornitrici devono certificare, tra le caratteristiche tecniche degli apparecchi commercializzati, la rispondenza del singolo prodotto alla presente legge ed alle norme tecniche di attuazione, corredandolo della dichiarazione di conformità rilasciata da

riconosciuti istituti nazionali e internazionali operanti nel settore della sicurezza e qualità dei prodotti e delle aziende, nonché delle raccomandazioni circa la corretta installazione ed uso."

5. Il comma 10 dell'articolo 6 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 è sostituito dal seguente:

"10. L'illuminazione di edifici e monumenti, fatte salve le disposizioni del comma 2 in termini di intensità luminosa massima, deve essere di tipo radente, dall'alto verso il basso; solo nei casi di comprovata inapplicabilità del metodo ed esclusivamente per manufatti di comprovato valore artistico, architettonico e storico, sono ammesse altre forme di illuminazione, purchè i fasci di luce rimangano entro il perimetro delle stesse, l'illuminamento non superi i 15 lux, l'emissione massima al di fuori della sagoma da illuminare non superi i 5 lux e gli apparecchi di illuminazione vengano spenti entro le ore ventiquattro."

6. Dopo il comma 10 dell'articolo 6 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 sono inseriti i commi 10 bis e 10 ter:

"10 bis. La Regione Lombardia, ai fini del risparmio energetico nell'illuminazione pubblica e privata di esterni:

- a) incentiva l'impiego della tecnologia fotovoltaica;*
- b) incentiva, anche al fine di migliorare la sicurezza stradale, la sostituzione e l'integrazione dell'illuminazione tradizionale con sistemi passivi di segnalazione, quali catarifrangenti, cat-eyes e similari, o sistemi attivi, quali LED fissi o intermittenti, indicatori di prossimità, linee di luce e similari;*
- c) dispone l'impiego, a parità di luminanza, di apparecchi che conseguano impegni ridotti di potenza elettrica, condizioni ottimali di interesse dei punti luce e ridotti costi manutentivi; in particolare, i nuovi impianti di illuminazione stradali tradizionali, fatta salva la prescrizione dell'impiego di lampade con la minore potenza installata in relazione al tipo di strada ed al suo indice illuminotecnico, devono garantire un rapporto fra interdistanza e altezza delle sorgenti luminose non inferiore al valore di 3.7. Sono consentite soluzioni alternative solo in quanto funzionali alla certificata migliore efficienza generale dell'impianto.*

10 ter. Gli apparecchi destinati all'illuminazione esterna, sia pubblica che privata, in particolare se non funzionalmente dedicati alla circolazione stradale, non devono costituire elementi di disturbo per gli automobilisti e per gli interni delle abitazioni; a tal fine ogni fenomeno di inquinamento ottico o di abbagliamento diretto deve essere contenuto nei valori minimi previsti dalle norme tecniche e di sicurezza italiane ed europee."

Art. 8

(Modifiche all'articolo 8 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17)

1. L'art. 8 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 è sostituito dal seguente:

"Art. 8 (Sanzioni)

1. Chiunque non ottemperi all'ordinanza sindacale di cui all'articolo 4, comma 1, lettera g), incorre nella sanzione amministrativa da € 100 a € 300 per punto luce; l'ammontare passa da € 200 a € 600 per punto luce ove l'inadempienza si verifichi in ambiti territoriali ricadenti nelle fasce di rispetto

degli osservatori e da € 350 a € 1050 per punto luce in presenza di impianti ad elevato inquinamento luminoso.

2. Qualora i comuni non ottemperino alle scadenze di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), sono esclusi dai benefici economici regionali di settore per i successivi ventiquattro mesi.

3. Le province, nei casi di accertate inadempienze da parte dei comuni, irrogano sanzioni amministrative:

a) da € 2.000 a € 6.000 per l'inosservanza delle disposizioni inerenti ai nuovi impianti di cui all'articolo 6, comma 1, con un massimo di € 10.000 ove l'opera interessi le fasce di rispetto degli osservatori;

b) da € 600 a € 1.800 per ogni mese, o frazione di mese, di inosservanza delle disposizioni di cui all'articolo 6, commi 4 e 7.

4. Alle sanzioni di cui al comma 3 si aggiunge l'esclusione dai benefici economici regionali nello specifico settore, rispettivamente per i successivi trentasei e ventiquattro mesi.

5. Qualora le inadempienze riguardino le province, la Regione promuove di volta in volta le azioni più opportune per la tempestiva applicazione della norma.

6. I proventi delle sanzioni di cui al comma 1 sono impiegati dai comuni per l'adeguamento degli impianti di illuminazione pubblica ai criteri della legislazione regionale.

7. I proventi delle sanzioni di cui al comma 3 sono impiegati dalle province per l'adeguamento degli impianti di illuminazione, posti sulla rete viabilistica di diretta competenza, ai criteri della legislazione regionale.”.

Art. 9

(Modifiche all'articolo 9 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17)

1. La rubrica dell'articolo 9 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 è sostituita dalla seguente:

“Art. 9 (Disposizioni comuni)”

2. Il comma 1 dell'articolo 9 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 è sostituito dal seguente:

“1. La modifica e la sostituzione degli apparecchi per l'illuminazione, secondo i criteri indicati nel presente articolo, è effettuata entro e non oltre il 31 dicembre 2006; a tal fine, qualora le norme tecniche e di sicurezza lo permettano, si procede in via prioritaria all'adeguamento degli impianti con l'impiego di apparecchi ad alta efficienza e minore potenza installata.”.

Art. 10
(Piano dell'illuminazione)

1. Il piano dell'illuminazione definito dalla lettera c) dell'articolo 1bis della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17, introdotto dalla presente legge, è approvato dai comuni secondo le procedure previste dalla legge regionale 23 giugno 1997, n. 23 (Accelerazione del procedimento di approvazione degli strumenti urbanistici comunali e disciplina del regolamento edilizio) e costituisce integrazione allo strumento urbanistico generale.

2. Il piano, comprensivo di relazione generale introduttiva, elaborati grafico-planimetrici, norme di attuazione e stima economica degli interventi da porre in essere, è uniformato ai principi legislativi della Regione, al Codice della strada, alle normative tecniche di settore, al contesto urbano ed extraurbano e alla eventuale presenza di ulteriori vincoli.

3. Obiettivi del piano sono:

- a) la limitazione dell'inquinamento luminoso e ottico;
- b) l'economia di gestione degli impianti attraverso la razionalizzazione dei costi di esercizio, anche con il ricorso a energia autoctona da fonti rinnovabili, e di manutenzione;
- c) il risparmio energetico mediante l'impiego di apparecchi e lampade ad alta efficienza, tali da favorire minori potenze installate per chilometro ed elevati interassi tra i singoli punti luce, e di dispositivi di controllo e regolazione del flusso luminoso;
- d) la sicurezza delle persone e dei veicoli mediante una corretta e razionale illuminazione e la prevenzione dei fenomeni di abbagliamento visivo;
- e) una migliore fruizione dei centri urbani e dei luoghi esterni di aggregazione, dei beni ambientali, monumentali e architettonici;
- f) la realizzazione di linee di alimentazione dedicate.

Art. 11
(Concessione di contributi)

1. La Regione, compatibilmente con le risorse di bilancio e con riferimento ai compiti assegnati alle province e ai comuni dagli articoli 3 e 4 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17, come modificati dalla presente legge, concede direttamente o tramite forme di credito agevolato, contributi per:

- a) la predisposizione del piano dell'illuminazione pubblica di cui all'articolo 5, comma 1, lett. a) in misura non superiore al 65% della spesa ritenuta ammissibile e comunque per un importo non superiore a € 10.000;
- b) l'adeguamento ai criteri della legislazione regionale o il rifacimento degli esistenti impianti pubblici di illuminazione esterna.

2. Le modalità e i tempi per accedere ai finanziamenti da parte di soggetti interessati sono definiti con apposita deliberazione della Giunta regionale.

Art. 12

(Abrogazione del comma 6 dell'articolo 9 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17. Modifica della dgr VII/6162)

1. Il comma 6 dell'articolo 9 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 è abrogato.
2. La deliberazione della Giunta regionale n. VII/6162 del 20 settembre 2001 è modificata in conformità alle disposizioni degli articoli 4, 6, 8 e 9 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17, come modificati dalla presente legge.

Art. 13

(Norma finanziaria)

1. All'autorizzazione delle spese previste ai precedenti articoli si provvede con successiva legge regionale.

ALLEGATO 2 - CONTROLLO DEL FLUSSO LUMINOSO DIRETTO

Il Controllo del flusso luminoso diretto costituisce di fatto lo strumento imposto dalla normativa regionale per definire le più corrette modalità di illuminazione, in modo che gli impianti di illuminazione possano essere considerati a ridotto inquinamento luminoso e a risparmio energetico (l.r. 17/00, articolo 6, comma 2 e d.g.r. 7/6162, articolo 5 *Criteri comuni*).

L'**Intensità luminosa** (I) esprime la quantità di luce che è emessa da una sorgente (flusso luminoso) in una determinata direzione (angolo γ). Essendo una grandezza di tipo vettoriale, la sua espressione richiede che, oltre all'indicazione della quantità di luce, sia specificata la direzione ad essa associata. Per permettere i necessari confronti, viene "normalizzata" per 1000 lumen. L'unità di misura è la candela (cd).

Il **Flusso luminoso** (Φ) è la grandezza che definisce la quantità di luce emessa da una sorgente luminosa o, come accade nel contesto dell'illuminazione, da un apparecchio nell'unità di tempo. L'unità di misura è il lumen (lm).

Prevedere che i nuovi impianti debbano prevedere apparecchi che, una volta installati, emettano al massimo tra 0 e 0,49 cd di intensità luminosa ogni 1000 lumen emessi (l'indicazione di tali valori, rientra nel range dell'errore strumentale della misurazione del valore zero), per un angolazione pari o maggiore a 90° (ossia oltre la linea di orizzonte) significa ammettere un flusso luminoso ridotto al di sopra della linea di orizzonte. In questa logica è da sottolineare l'importanza di una corretta installazione.

L'**angolo γ** è quello misurato rispetto alla verticale passante per il centro dell'apparecchio. L'angolo γ con ampiezza 0° corrisponde alla direzione del nadir, ossia sotto l'apparecchio, con ampiezza di 90° corrisponde alla direzione dell'orizzonte e quando uguale a 180° la direzione corrisponde a quella dello zenit, ossia sopra l'apparecchio.

L'**angolo C** è l'angolo che i piani passanti per il centro dell'apparecchio e verticali formano con la direzione longitudinale alla strada.

La legge regionale 27 marzo 2000 n. 17 e s.m.i. lascia libertà di scelta rispetto alla tipologia degli apparecchi, fornendo solo alcune indicazioni fortemente auspiccate ma non obbligatorie nel caso in cui esista la piena conformità alla legge.

Di seguito si riportano le indicazioni più evidenti (cfr. d.g.r. n. VII/6162 del 20 settembre 2001, art. 5 *"Criteri comuni"*):

- lettera a) *"... a tale fine, in genere, le lampade e gli eventuali elementi di protezione trasparenti devono essere incassate nel vano ottico superiore dell'apparecchio stesso";*

- lettera c) "elementi di chiusura preferibilmente trasparenti e piani, realizzati con materiale stabile anti ingiallimento quale vetro, metacrilato ed altri con analoghe proprietà".

Per quanto riguarda gli apparecchi illuminanti, a parità di conformità, sono comunque da preferire apparecchi a vetro piano orizzontale, in quanto:

- non inquinano e non abbagliano;
- si sporcano meno e possono essere comunque puliti con facilità;
- hanno una minore perdita di efficienza nel tempo;
- non ingialliscono;
- sono più resistenti anche ad eventi accidentali;
- costano meno;
- non hanno elementi mobili nell'armatura a rischio di cadute;
- hanno una efficacia illuminante molto superiore.

Conformità degli apparecchi illuminanti alla l.r 17/00 e s.m.i.

La d.g.r. 7/6162, all'art. 2 "Le case costruttrici, importatrici, fornitrici" così recita:

"provvedono a corredare la documentazione tecnica dei seguenti documenti:

a) il certificato di conformità alla l.r. 17/00, su richiesta del progettista, per il prodotto messo in opera sul territorio della Regione Lombardia;

b) la misurazione fotometrica dell'apparecchio, sia in forma tabellare numerica su supporto cartaceo, sia sotto forma di file standard normalizzato, tipo il formato commerciale "Eulumdat" o analogo; la stessa deve riportare:

- la temperatura ambiente durante la misurazione;
- la tensione e la frequenza di alimentazione della lampada;
- a norma di riferimento utilizzata per la misurazione;
- **l'identificazione del laboratorio di misura ed il nominativo del responsabile tecnico;**
- le specifiche della lampada (sorgente luminosa) utilizzata per la prova;
- **la posizione dell'apparecchio durante la misurazione;**
- il tipo di apparecchiatura utilizzata per la misura e la relativa incertezza di misura;
- **la dichiarazione del responsabile tecnico di laboratorio o di enti certificatori terzi, riconosciuti, circa la veridicità delle misure.**"

La verifica della conformità degli apparecchi illuminanti si limita alla verifica del valore dell'intensità luminosa per angoli gamma di 90° ed oltre. Per tale verifica sono INDISPENSABILI le MISURAZIONI FOTOMETRICHE dell'apparecchio, che il produttore è obbligato a fornire ai sensi e nei modi indicati dalla d.g.r. n. VII/6162, Articolo 5. Ai fini della legge, le misurazioni devono essere realizzate preferibilmente da un Ente certificatore terzo e comunque sottoscritte dal responsabile del laboratorio di misura certificato che le ha emesse.

La Tabella 1 riporta i valori fotometrici delle intensità luminose (cd/Klm) di un apparecchio d'illuminazione (Fonte: IMQ, Certificati "Performance").

Metodi di lettura di una tabella fotometrica

Esistono, per questa funzione, due possibilità:

- Inserire un file eulmdat (che solitamente ha un'estensione .ldt) all'interno di un software illuminotecnico e poi visualizzando la tabella fotometrica di ogni angolo GAMMA per ogni piano C.
- Farsi rilasciare direttamente la tabella dei dati fotometrici in formato cartaceo e consultare quindi la tabella fotometrica Gamma/C.

y	C																										
	270	285	300	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90
0	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
10	186	186	187	188	190	190	190	190	191	190	191	192	192	193	193	193	195	195	195	194	194	194	193	193	193	193	188
20	177	177	179	182	184	187	188	191	191	192	194	197	198	200	200	199	202	203	203	194	195	194	192	190	185	184	182
30	160	163	168	173	176	181	185	186	190	194	200	204	206	214	214	212	214	211	207	206	196	192	180	184	173	169	173
35	150	154	160	167	171	176	180	183	187	195	201	209	212	215	215	215	215	211	207	200	196	186	180	178	165	160	167
40	130	144	152	158	164	170	176	180	178	193	194	204	207	210	210	223	227	227	210	196	185	177	173	169	155	150	158
45	125	134	146	155	157	160	165	171	178	186	193	200	210	225	225	230	236	236	219	201	186	174	168	162	150	142	155
47.5	116	123	134	145	151	159	163	169	178	191	196	201	215	230	230	240	257	257	237	205	186	169	163	157	142	135	145
50	106	114	127	136	142	140	157	166	176	188	198	210	221	235	235	256	284	284	284	211	182	162	152	147	133	126	136
52.5	96	104	120	128	135	142	151	162	173	187	200	215	231	240	240	279	309	309	282	217	173	157	146	140	128	120	128
55	90	99	113	121	126	135	143	155	166	180	197	215	235	245	245	303	334	334	285	223	173	150	142	136	121	114	121
57.5	82	83	104	114	120	128	133	139	153	165	184	210	241	255	255	325	352	352	282	225	163	142	134	130	112	106	114
60	76	84	96	106	110	117	120	126	140	155	175	207	250	263	263	340	364	364	284	225	161	138	128	122	104	95	106
62.5	68	76	86	97	101	107	110	114	128	145	168	199	254	267	267	346	341	341	277	223	161	134	122	105	97	85	97
65	62	68	80	90	94	99	104	110	121	138	156	190	218	257	257	359	393	393	263	222	159	127	114	100	91	77	90
67.5	53	63	73	83	87	92	96	102	115	134	152	179	210	247	247	346	350	340	231	227	150	117	106	93	85	71	83
70	36	47	67	74	78	82	85	91	104	126	150	177	204	241	241	324	343	333	200	215	134	101	87	84	76	65	74
72.5	10	29	50	59	65	71	74	77	93	115	142	168	190	219	219	312	320	270	164	188	111	80	52	60	51	51	59
75	5	8	19	29	35	43	47	65	66	97	120	151	160	168	168	279	275	185	51	144	59	33	41	34	22	27	29
77.5	2	4	6	7	9	11	12	12	20	38	60	82	80	77	110	188	124	44	8	86	17	7	8	8	5	14	7
80	0	1	3	4	4	5	8	6	7	7	8	11	12	13	20	85	13	6	4	27	9	3	7	2	1	2	4
82.5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	4	13	5	3	1	5	2	1	1	1	1	1	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	4	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0
87.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
90-180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTA

La tabella, in ragione della brevità di questo documento, riassume in un'unica riga gli angoli Gamma da 90° a 180°, anche se questi ultimi devono comunque essere sempre riportati per esteso.

Tabella 1 – Tavola delle intensità luminose per ogni piano C per angolo compresi tra gamma=0° (direzione sotto l'apparecchio) e 90° (direzione orizzonte) sino a 180° (direzione allo zenit dell'apparecchio) (Fonte: IMQ, Certificati "Performance").

Verificando, in corrispondenza della linea evidenziata in rosso nella Tabella 1, che corrisponde all'intensità luminosa emessa dall'apparecchio in direzione dell'orizzonte (gamma = 90° o superiore), su ogni piano C si individua la conformità dell'apparecchio alla l.r. 17/00 e s.m.i.

00412 UTA

Se uno solo dei valori della linea con Gamma uguale a 90° (o superiore) è maggiore di 0, nel caso in cui la tabella è espressa in numeri interi, o maggiore di 0.49 cd/klm, nel caso in cui la tabella è espressa con numeri decimali con la virgola, allora l'apparecchio NON è conforme alla l.r. 17/00 e s.m.i.

Per essere certi delle misure fotometriche rilasciateci, è possibile richiedere i dati fotometrici certificati da Enti terzi, come, ad esempio, di quei laboratori che possono apporre sugli apparecchi il marchio "Performance" dell'Istituto Marchio di Qualità Italiano.

Importanza della corretta installazione

Un altro aspetto rilevante riguarda la corretta installazione degli apparecchi illuminanti: anche un apparecchio privo di emissione luminosa al di sopra di angoli di 90° (quindi un apparecchio di per sé conforme alla norma regionale), se installato in posizione inclinata rispetto alla posizione di misura di laboratorio, può registrare intensità luminosa verso l'alto.

Per effettuare tale verifica, occorre "ruotare" la curva fotometrica, sull'asse del diagramma, per l'angolo di inclinazione in cui l'apparecchio è montato, come mostrato nell'esempio delle Tabelle 2, 3 e 4.

La Tabella 2 riporta i dati fotometrici di un apparecchio che risulta conforme alla normativa regionale in quanto emette 0cd/klm a 90° ed oltre ed in quanto è installato in senso orizzontale.

Supponiamo che invece tale apparecchio sia stato montato con un'inclinazione di 10°: i valori traslano tutti di 10° e l'apparecchio risulta a 90° emettere 12 cd (Tabella 2) (esattamente il valore che emetteva precedentemente a 80°). Questo significa che tale apparecchio, montato con un'inclinazione di 10° NON è più a norma. Identico risultato si ottiene se si monta il corpo inclinato di 30°: l'emissione a 90° è pari a quella che precedentemente veniva emessa a 60° (pari alla differenza tra le due diverse inclinazioni) e cioè pari a 574 cd (Tabella 3).

Per questo stesso motivo, le misure fotometriche devono essere fornite con la posizione di misura del corpo illuminante (generalmente 0°), in quanto per diverse posizioni d'installazione il corpo illuminante potrebbe non risultare conforme alla l.r. 17/00 e s.m.i.

Tabella 2: inclinazione 0°

Tabella 3: inclinazione 10°

Tabella 4: inclinazione 30°

Angolo	Cd/1000 lm	Angolo	Cd/1000 lm	Angolo	Cd/1000 lm
0°	335	0°	368	0°	412
10°	368	10°	335	10°	391
20°	391	20°	368	20°	368
30°	412	30°	391	30°	335
40°	435	40°	412	40°	368
50°	487	50°	435	50°	391
60°	574	60°	487	60°	412
70°	125	70°	574	70°	435
80°	12	80°	125	80°	487
90°	0	90°	12	90°	574
100°	0	100°	0	100°	125
110°	0	110°	0	110°	12
120°	0	120°	0	120°	0
130°	0	130°	0	130°	0

Per la verifica del valore dell'intensità luminosa per angoli gamma di 90° ed oltre, la conformità di un apparecchio alla I.r. n. 17/00 non è sufficiente quindi una sommaria visione e lettura della curva fotometrica pubblicata sui cataloghi dei produttori di corpi illuminanti.