

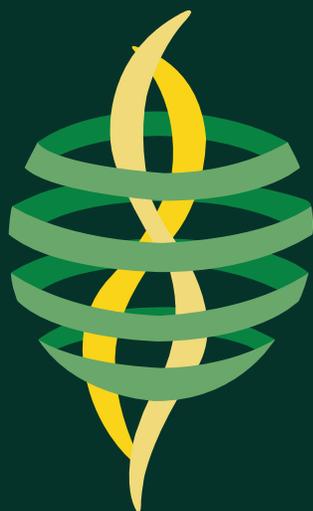
RESERVA DE DERECHOS AL USO EXCLUSIVO DE TITULO No. 04-2018-070614032000-203

VIGENCIA 06/07/2019 A 06/07/2020

ACTUALIZACIÓN 20/06/2020

ISSN 2594-1925

a cargo de la FCITEC



RECIT

REVISTA DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS

VOLUMEN 3 CAPÍTULO 3

ISSN: 2594-1925



FCITEC
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología
Unidad Valle de las Palmas

2020

Julio- Septiembre



An evaluation case for a research seminar

Un caso de evaluación para un seminario de investigación

Guerrero-Moreno Roberto Javier ¹, Oviedo González Eilen ², Mejía-Medina David
Abdel ¹

¹Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario 1000, Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México.

²Universidad Pedagógica Nacional, Paseo de la Vida s/n, Fraccionamiento Las Américas., Tijuana, Baja California, México.

Autor de correspondencia: Roberto Javier Guerrero Moreno, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario 1000, Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México. E-mail: rjgm76@uabc.edu.mx. ORCID: 0000-0002-8974-0990.

Recibido: 12 de Febrero del 2020

Aceptado: 07 de Agosto del 2020

Publicado: 10 de Agosto del 2020

Abstract. - *The research seminar is a staple in many colleges and typically serves as a link between the researchers' work and the student body. However, more than an outreach activity, we believe that it is an excellent means of motivation, and an effort is rarely made to quantify the success of the program in terms of acceptance within the student body. In the following article we will present the results of a 4-year survey in a multidisciplinary engineering / design / architecture school for a state public university in Mexico. The survey was designed with the intention of quantifying the success of the activity in capturing the attention and interest of the students.*

Keywords: Education; scientific research.

Resumen. - El seminario de investigación es un elemento básico en muchas escuelas de educación superior y normalmente sirve como enlace entre el trabajo de los investigadores y el cuerpo estudiantil. Sin embargo, más que una actividad de divulgación, creemos que es un excelente medio de motivación, y rara vez se hace un esfuerzo por cuantificar el éxito del programa en lo que se refiere a la aceptación dentro del alumnado. En el siguiente artículo presentaremos los resultados de una encuesta de 4 años en una escuela multidisciplinaria de ingeniería / diseño / arquitectura para una universidad pública estatal en México. La encuesta fue diseñada con la intención de cuantificar el éxito de la actividad en captar la atención e interés de los estudiantes.

Palabras clave: Educación; investigación científica.



1. Introduction

As our society demands professionals with engineering skills, is important to identify that the attrition rate in engineering schools is significant. Research in this area has presented analysis [1-16], evaluation tools [2-10], and methodologies to [4-6, 12-20] help to understand and mitigate this problem.

The attrition rate can be attributed to diverse factors like, social (ethnicity, sexual orientation and/or identity) [1, 8, 11, 22-23, 25, 27], economic [1, 14 23, 26], personal (lack of belonging, health) [1, 6-8, 11] institutional (poor teaching and advising) [1, 4-5, 11, 13-14, 18-19, 22-24, 26], academic [1-4, 10-11, 13-15, 18, 23, 26-28] and/or, motivational [1-2, 10-11, 19-21. 24]. It is sometimes easier for the facilitators to simplify the problem as a lethargic phase that the student will push through, and if not, then his interest or abilities lie somewhere else. However, in some cases, we can help the student to push through their lethargic phase and turn them instead in a highly-trained professional.

Let us consider a random student, which finds some subjects appealing, and have an excellent performance in it, while disliking, or finding other courses not interesting, meaning, that he does not believe it has any real-world use for it, or find it very difficult, due to gaps in the knowledge required to understand such subjects. This last one is the case for some students when dealing with mathematics and physics [2-4, 6, 17, 26, 28]. Such courses are often the reason for students falling behind and/or dropping out.

The previous case tends to be significant for public universities, where a public entity (maybe the state and/or country) absorbs by far the cost of educating each student, i.e., each student has a cost per semester attributed to it, and so, if a student does not finish his/her studies and earns a degree these resources are effectively wasted.

Is the duty of the school to try to maximize the number of students that earn their degree while maintaining an academic standard?

Many academic programs exist to help students, tutoring hours are available, remedial courses are given, and group collaboration between students is encouraged.

However, as important as these efforts are, the activities that motivate the student, are paramount, and is or our firm believe that the academic and the motivational are intricately linked. A motivated student will surpass any hurdle presented.

Many higher learning schools have a periodic seminar where the students are presented with talks that range from research activities, scientific dissemination, or academic talks. In some schools attending to them is optional, while in other schools is mandatory and can be part of their curriculum.

No evaluation of such activities was found in the literature and we believe that the students enjoy such activities and can have a high motivational impact, and which serves to keep them informed of research scholarships, social service programs, professional bonding opportunities, and/or postgraduate choices.



The results presented in this paper were obtained from polling the audience in such seminars from 2012 to 2016, the specifics are presented in the subsequent sections

1. Methodology

The results presented here were collected in the Campus "Valle de las Palmas" of "Baja California State University" (Universidad Autónoma de Baja California - UABC) in particular for the multidisciplinary school FCITEC (Facultad de Ciencias de Ingeniería y Tecnología – School of Engineering and Technology Sciences).

FCITEC offers majors in Bioengineering, Aerospace, Civil, Electric, Electronic, Industrial, Mechanics, Mechatronics and Renewable energy engineering, also Industrial and Graphic Design, and Architecture.

The school opened its doors in august 2009 to the student population of about 600 and 20 full-time academics (FAs), by the summer of 2014 the population had grown up to around 3,500 students and 70 full-time academics plus many partial time lecturers. The rapid increase in the student and faculty bodies made it necessary to establish periodic seminar. By faculty request, a seminar program was established in March 2012 (with around 2,000 students and 50 FAs). The purpose of this activity was to create a periodic forum where the teaching staff could present to the school community their research projects, results, and student collaborations.

In addition, we were trying to foment a program where the student would be able to build the competencies necessary for interactive listening, questioning in a

respectful manner, and the ability to reflect on the connection between the theoretical and practical knowledge presented in the talks.

Due to the geographic location of the university (i.e. travel time), it was necessary to schedule the seminar during the school hours, and so only those students without any activities at that time or those were the teachers permitted the group to assist the seminar, had the opportunity to attend the talks. This greatly impeded us to reach a wider audience. Since 2012 until April of 2016, the seminar has hosted 59 talks and around 4,646 attendees. The topics presented were varied and of interest to the student body.

During the last 41 talks, the total audience was of 3,017 students and 200 teachers/administrative personnel. The students in the audience were surveyed, and the results will be presented in the next section.

As the section deals with statistical results, it is necessary to determine if the number of answered surveys satisfies the minimum statistical sample. To determine this, we use the following equation

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 - \sigma^2Z^2} \quad (1)$$

Where, n is minimum statistical sample, N number of total population (here 3,500), the standard deviation value of the population, σ , is not known so is common use to utilize 0.5 in such cases, for the trust value, Z , we use the 95% i.e. $Z = 1.96$ (the usual value) and for the error range, e , we assigned the middle value for an unknown population, i.e., $e = 0.04$ (4%) [29, 30].



To validate our statistical results, we will utilize Cronbach’s alpha [31-35] as given by

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2}{\sigma_t^2} \right] \quad (2)$$

where k is the number of scale items, in this case, the total number of talks where the question was asked in the survey, σ_i^2 refers to the variance associated with the answers for each date, and σ_t^2 is the variance related to total for each answer.

The values of alpha commonly assigned to evaluate the consistency are shown in table 1.

Table 1. Interpretation of the Cronbach’s alpha values in terms of the consistency.

Cronbach’s alpha	Consistency
$\alpha \geq 0.9$	Excellent
$0.9 > \alpha \geq 0.8$	Good
$0.8 > \alpha \geq 0.7$	Acceptable
$0.7 > \alpha \geq 0.6$	Questionable
$0.6 > \alpha \geq 0.5$	Poor
$0.5 > \alpha$	Unacceptable

A full deduction and discussion about Cronbach’s alpha can be found in the cited references.

2. Results and Discussions

The data shown in this section are the results of surveying the audience in the last 41 talks, in total, we have around of 2,700 surveys, the final tally differs from the final attendance because some participants did not answer or fully answer the survey.

By using equation (1), we determined that the minimum statistic sample for a population of 3,500 students is around 494, far below the number (2,000) of surveys at our disposal; this allows extrapolating the data found here to the full student body.

The results will be presented in four subsections 3.1) Audience, 3.2) Knowledge and attendance, 3.3) Quality, 3.4) Research projects.

2.1 Audience

The semesters are academically split into three stages: common, 1st to 3rd semester, where the common courses are taken, and the student chooses their major. Disciplinary, 4th through 6th semester, and the terminal stage is 7th, and beyond, this is where final specialization is chosen.

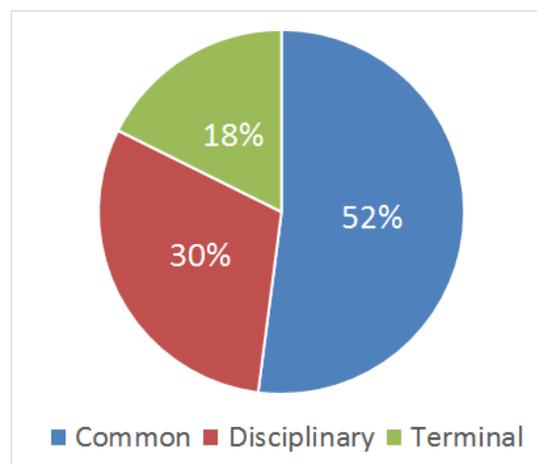


Figure 1: Assistance by academic stage.

Out of the 3,017 student attendees who answered this question, 1,400 were from the basic stage, 816 from the disciplinary stage, and 574 terminal stage, with 227 not registering their semester.



The results are in complete agreement with the number of students in each stage in the school and are encouraging as we can inform the newest students about scientific research activities in the school.

By applying equation (2) to the values used to generate figure 1, we found $\alpha_1 = 0.9008$ which according to table 1 have an excellent internal consistency

2.2 Knowledge and attendance

Figure 2 shows the percentage of attendees who had prior knowledge of the seminar.

We will discuss Cronbach’s alpha values for each figure at the end of the section, as the analysis is quite similar for figures 2 and 3.

We note that from 2013-2 to 2015-1 the percentage with prior knowledge has continuously grown, and by 2016-1 60.2% of the attendees had prior knowledge of the activity. We consider this extremely important, as per year almost 900 students are freshmen and need to be informed of the different activities available.

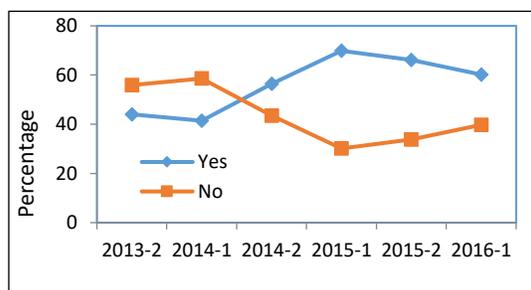


Figure 2. Percentage and number of attendees who had prior knowledge of the seminar.

In figure 3, we present the percentage of the audience that had attended the seminar previously. We can see that by the end of 2016-1, 60.2% of the attendees had knowledge of the activity, this means that

almost two-thirds of the total population find the seminar interesting enough to participate more than one time.

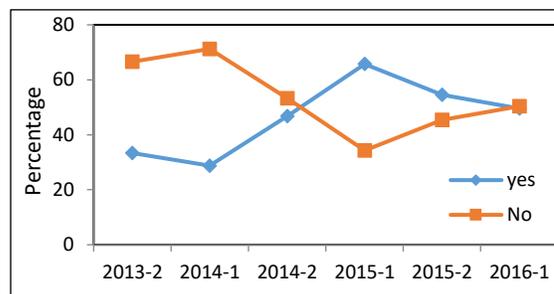


Figure 3. The audience was asked if they had attended before to a talk of this seminar.

The organizing committee must make a greater effort to generate more interest. So, a basic question that must be asked is, how did the students find out about the talk? In figure 4 we present such findings.

We found after analyzing the surveys that most of the students (73%) knew about the talk because of their teachers while 14% because of the notifications posted through the school (around 100 such notifications are posted each talk) while 8% found out by our Facebook page and repost of the information, while 3% by word of mouth.

At this time, is clear that the main way that students can participate in the event is by leave of the teacher from his class, but as we see 25% of the student participated out of their free will, this is very encouraging. We believe that by using electronic publicity, like social networks, we can reach an even broader number of students, in this we propose the addition of students as their input would be of great value in managing the information in social media; we recommend the use of focus groups.

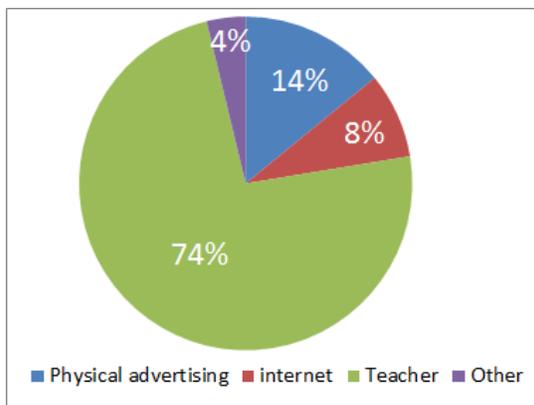


Figure 4. Ways the audience learned of a talk.

The values for the Cronbach’s alpha for each figure are $\alpha_2 = 0.6091$, $\alpha_3 = 0.2833$, for figures 2 and 3, respectively, both number significantly low, as presents in table 1, in particular for α_3 , we believe that this due series of factors. First, the literature [31-35] is clear that the Cronbach’s alpha methodology is not particularly good at assessing a small number of questions (2 possible answers: yes or no) for a set of items (in our case, talks). Second, the information presented here is skewed, as we were only asking for “knowledge and attendance” of those already participating in it. A more consistent result should include responses for a random group of students. Nevertheless, we include these results because it shows some interesting information and allows discussion and the methodology and can be of some help for future works. Cronbach’s alpha for the data presented in figure 4 is $\alpha_2 = 0.9815$, which shows excellent internal consistency.

2.3 Quality

We quantify the quality of the talks presented by asking the student to rate, the speaker (figure 5), and subject matter (figure 6) using a 5 point Linkert scale,

where 5 is the best review and 1 the worst. The Cronbach’s alpha for both sets of data is 0.9806 and 0.9831, respectably.

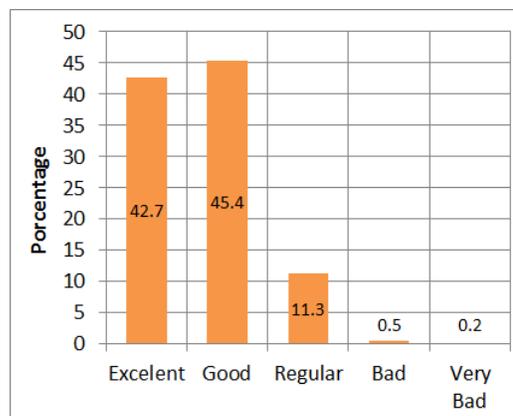


Figure 5. Audience grading of the 40 speakers in a 5-point scale.

Figures 5 and 6 show a very favorable reception from the student to the speakers and the subject matter of the talks. This shows the organizer that a careful selection of the speakers, topic, and importantly the level at which the information was presented, we try to keep the information at a level adequate for a third-semester engineering audience.

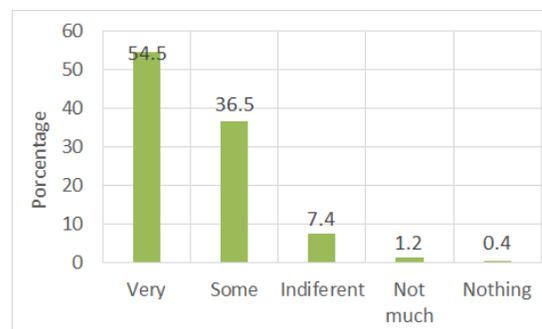


Figure 6. Audience grading the 40 talks in term of their appeal.

We believe that the social media can help to get additional comments about what types of talks the students would like to receive and would allow focusing the activity to the



liking of the students, so they can increase the total attendance

2.4 Research projects

We believe that scientific research and the dissemination of it can have a positive impact on the academic life of many students, but sometimes we forgot that some students may not have prior knowledge of the existence of research activities in our schools or that they can actually participate on it. As part of the purpose of the seminar, we are interested in informing the student body about those research opportunities, and the many options available to them, including research grants, thesis opportunities, internships in companies, summer schools, and many others.

We asked the attendees if they knew that there are research activities in FCITEC? and found out that the attendees have knowledge of the existence of research activities in our school, is very interesting that 78.2% of the students have this information, this number has changed very little over the semesters, so a lack of knowledge in this area, appears not to be a significant obstacle.

The students know that research is been done in their school, but we wonder if do they know that some of those projects have scholarships associated with them? We ask the polled students this and found that of the 2,773 polls, only 54.6% answered yes. This result is not entirely unexpected, as FCITEC is a new school, many of the activities do not have immediate recognition by the community. But we find it very encouraging that the percentage has been growing as the years go by meaning that the information has been reaching more and more students

and we believe that the seminar has been playing a big part.

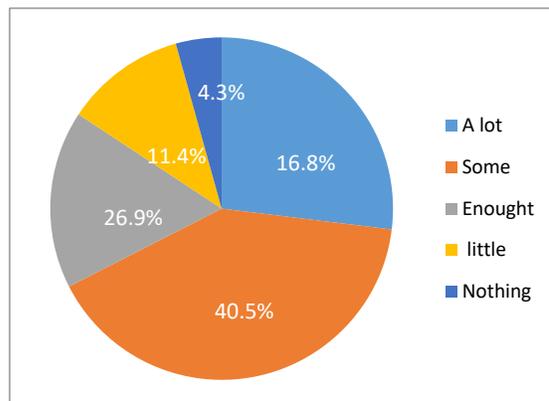


Figure 7. Evaluation of the interest generated thru the talk to join a research project

Figure 7 shows the results as presented by the survey, again by assigning a numeric value of 5 to "A lot" and 1 to "nothing". The results tell us that 16.8% of all the students want to participate in research activities, this is very encouraging, and a way should be found to try to include them. This item is our survey and it was found out to have a Cronbach's alpha of 0.9815.

It is clear to the authors, that figure 7 is not enough to validate if the research seminar influenced the research activities, at the time of the study no information was available to us to explore this question.

3. Conclusions

We have shown statistical results from a survey applied to the attendees of the research and diffusion seminar at FCITEC, from august 2013 thru April 216, approximately 2,700 surveys were collected.



The results presented have shown that students have found talks interesting and because of them have considered joining (or joined) research activity, in the different modalities that UABC offers. The analysis also reveals that the main way the audience has found out about the talk calendar is by their teachers. Here we recommend using more and more the use of social media.

We showed that the seminar has had a positive effect, as the interest of students to join research projects has more than doubled in 2015 with respect to those reported in 2014.

Acknowledgements

The authors of this paper would like to thank the many students that were graceful enough by answering our survey.

References

- [1] R. M. Marra, K. A. Rodgers, D. Shen, and B. Bogue, "Leaving Engineering: A Multi-Year Single Institution Study," *J. Eng. Educ.*, vol. 101, no. 1, pp. 6–27, Jan. 2012. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2012.tb00039.x>
- [2] N. Fang, "Correlation between students' motivated strategies for learning and academic achievement in an engineering dynamics course," *Glob. J. Eng. Educ.*, vol. 16, no. 1, pp. 6–12, 2014. <http://www.wiete.com.au/journals/GJEE/Publish/vol16no1/01-Fang-N.pdf>
- [3] K. A. Wingate, A. A. Ferri, and K. M. Feigh, "The impact of the physics, statics, and mechanics sequence on student retention and performance in mechanical engineering," *ASEE Annu. Conf. Expo. Conf. Proc.*, vol. 2018-June, 2018. <https://www.asee.org/public/conferences/106/papers/21647/view>
- [4] R. Suresh, "The Relationship Between Barrier Courses and Persistence in Engineering," *J. Coll. Stud. Ret.* 8(2), 215 – 239, 2006. <https://doi.org/10.2190/3QTU-6EEL-HQHF-XYF0>
- [5] J. C. Hermanowicz, "The College Departure Process among the Academic Elite," *Educ. Urban Soc.*, vol. 37, no. 1, pp. 74–93, Nov. 2004. <https://doi.org/10.1177/0013124504268069>
- [6] M. G. Wintre, C. Bowers, N. Gordner, and L. Lange, "Re-Evaluating the University Attrition Statistic: A Longitudinal Follow-Up Study," *J. Adolesc. Res.*, vol. 21, no. 2, pp. 111–132, Mar. 2006. <https://doi.org/10.1177/0743558405285658>
- [7] M. Besterfield-Sacre, C. J. Atman, and L. J. Shuman, "Characteristics of Freshman Engineering Students: Models for Determining Student Attrition in Engineering," *J. Eng. Educ.*, vol. 86, no. 2, pp. 139–149, Apr. 1997. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.1997.tb00277.x>
- [8] G. Zhang, T. J. Anderson, M. W. Ohland, and B. R. Thorndyke, "Identifying Factors Influencing Engineering Student Graduation: A Longitudinal and Cross-Institutional Study," *J. Eng. Educ.*, vol. 93, no. 4,



- pp. 313–320, Oct. 2004.
<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00820.x>
- [9] J. P. Del Rio Arteaga, “Modelo Predictivo para la Retención de Estudiantes en Primeros Años,” Universidad Técnica Federico Santa María, 2018.
<http://hdl.handle.net/11673/41319>
- [10] M. Hoit and M. Ohland, “The Impact of a Discipline-Based Introduction to Engineering Course on Improving Retention,” *J. Eng. Educ.*, vol. 87, no. 1, pp. 79–85, Jan. 1998.
<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2007.tb00935.x>
- [11] B. N. Geisinger and D. R. Raman, “Why they leave: Understanding student attrition from engineering majors,” *Int. J. Eng. Educ.*, vol. 29, no. 4, pp. 914–925, 2013.
https://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_public/607/
- [12] M. H. Stohs and J. G. Schutte, “The Graduation Rate Myth and the Equity Gap,” *J. Appl. Soc. Sci.*, vol. 13, no. 2, pp. 94–114, Sep. 2019.
<https://doi.org/10.1177/1936724419876677>
- [13] D. Yomtov, S. W. Plunkett, R. Efrat, and A. G. Marin, “Can Peer Mentors Improve First-Year Experiences of University Students?,” *J. Coll. Student Retent. Res. Theory Pract.*, vol. 19, no. 1, pp. 25–44, Oct. 2015.
<https://doi.org/10.1177/1521025115611398>
- [14] K. G. Ricks, J. A. Richardson, H. P. Stern, R. P. Taylor, and R. A. Taylor, “An Engineering Learning Community to Promote Retention and Graduation Of At-Risk Engineering Students”, *AJEE*, vol. 5, no. 2, pp. 73-90, Nov. 2014.
<https://doi.org/10.19030/ajee.v5i2.8953>
- [15] X. Jiang and S. Freeman, “ASQ Advancing the STEM Agenda in Education, the Workplace and Society Session 3-4 An Analysis of the Effect of Cognitive Factors on Students’ Attritions in Engineering: A Literature Review,” pp. 1–12.
<https://pdfs.semanticscholar.org/fe44/b5551f7e22bd2535da690dd62f452ccd78b9.pdf>
- [16] J. L. Jensen, S. Neeley, J. B. Hatch, and T. Piorczynski, “Learning Scientific Reasoning Skills May Be Key to Retention in Science, Technology, Engineering, and Mathematics,” *J. Coll. Student Retent. Res. Theory Pract.*, vol. 19, no. 2, pp. 126–144, Oct. 2015.
<https://doi.org/10.1177/1521025115611616>
- [17] R. Stanley, “A way to increase the engineering student’s qualitative understanding of particle kinematics and kinetics by utilizing interactive web based animation software,” *ASEE Annu. Conf. Expo. Conf. Proc.*, 2009. <https://peer.asee.org/a-way-to-increase-the-engineering-student-s-qualitative-understanding-of-particle-kinematics-and-kinetics-by-utilizing-interactive-web-based-animation-software.pdf>
- [18] J. Malm, L. Bryngfors, and J. Fredriksson, “Impact of Supplemental Instruction on Dropout and Graduation Rates: An Example from 5-Year Engineering Programs.,” *J.*



- Peer Learn., vol. 11, pp. 76–88, 2018. <https://ro.uow.edu.au/ajpl/vol11/iss1/6>
- [19] V. M. Lechuga, “A motivation perspective on faculty mentoring: the notion of ‘non-intrusive’ mentoring practices in science and engineering,” *High. Educ.*, vol. 68, no. 6, pp. 909–926, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10734-014-9751-z>
- [20] P. L. Hardré, and Z. Siddique, “SUCCESS in Engineering Education: Applying an ID Motivational Framework to Promote Engagement and Innovation”. *J. Appl. Instr. Des.*, vol. 3, no. 2, pp. 7 – 20, 2013. https://253f0a53-bb62-46afb495-b4548f4d5d90.filesusr.com/ugd/c9b0ce_6a2616612c994ef796f47b5b1b60fb01.pdf
- [21] A. R. Anggraini and J. Oliver, “Effects of Motivational Beliefs and Instructional Practice on Students’ Intention to Pursue Majors and Careers in Engineering,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019. <https://www.semanticscholar.org/paper/Effects-of-Motivational-Beliefs-and-Instructional-Tendhar/8655b79efe83d52c853f2fb9e2d0067fb061faf4>
- [22] J. M. Good, G. Halpin, and G. Halpin, “A Promising Prospect for Minority Retention: Students Becoming Peer Mentors,” *J. Negro Educ.*, vol. 69, no. 4, pp. 375–383, 2000. <https://doi.org/10.2307/2696252>
- [23] V. a Lotkowski, S. B. Robbins, and R. J. Noeth, “The Role of Academic and Non-Academic Factors in Improving College Retention,” *Office*, no. September 12, 2007, pp. 1–31, 2004. <https://doi.org/10.1037/e420492008-001>
- [24] L. Angelino, F. Keels Williams, and D. Natvig, “Strategies to Engage Online Students and Reduce Attrition Rates,” *J. Educ. Online*, vol. 4, no. 2, pp. 1–14, 2007. <https://doi.org/10.9743/JEO.2007.2.1>
- [25] S. E. Martin III and B. Littlepage, “Engineering Retention: Improving Inclusion and Diversity in Engineering,” *ProQuest Diss. Theses*, p. 172, 2018. <https://digitalcommons.murraystate.edu/etd/105/>
- [26] S. Oliveira, “Persistence in aerospace engineering: Why students choose and leave aerospace engineering,” Iowa State University, 2019. <https://lib.dr.iastate.edu/etd/17532>
- [27] L. Paura and I. Arhipova, “Student dropout rate in engineering education study program,” *Eng. Rural Dev.*, vol. 2016-January, pp. 641–646, 2016. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=LV2016030513>
- [28] K. Lenn and J. J. Potoff, “Work-in-Progress-Eos: A comprehensive approach to the retention of first and second year engineering students,” in *First Year Engineering Experience (FYEE) Conference, 2016*, pp. 2–4. <http://fyee.asee.org/FYEE2016/papers/155.pdf>



- [29] M. R. Spiegel, J. Schiller, and S. R. Alu., Probability and Statistic, no. 1. McGraw Hill Mexico, 2013. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>
- [30] T. Yamane, Statistics. An introductory analysis. Third edition. Harper & Row, 1973. https://books.google.com.mx/books/about/Statistics_An_introduutory_analysis_Thir.html?id=sl75MgEACAAJ&redir_esc=y
- [31] L. J. Cronbach, “Coefficient alpha and the internal structure of tests,” Psychometrika, vol. 16, no. 3, pp. 297–334, 1951. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- [32] M. Tavakol and R. Dennick, “Making sense of Cronbach’s alpha,” Int J Med Educ, vol. 2, pp. 53–55, Jun. 2011. <https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd>
- [33] J. M. Cortina, “What Is Coefficient Alpha? An Examination of Theory and Applications”. J Appl Psychol. Vol. 78, no. 1. Pp. 98 – 104, 1993. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.78.1.98>
- [34] T. Raykov and G. A. Marcoulides, “Thanks Coefficient Alpha, We Still Need You!,” Educ. Psychol. Meas., vol. 79, no. 1, pp. 200–210, Aug. 2017. <https://doi.org/10.1177/0013164417725127>
- [35] E. Cho and S. Kim, “Cronbach’s Coefficient Alpha: Well Known but Poorly Understood,” Organ. Res. Methods, vol. 18, no. 2, pp. 207–230, Nov. 2014. <https://doi.org/10.1177/1094428114555994>



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)



Desarrollo de índice de habitabilidad térmica en periodo frío para espacios públicos exteriores

Development of thermal habitability index in cold period for outdoor public spaces

Martín del Campo Saray Francisco José¹ , Valladares Anguiano Reyna² , Bojórquez Morales Gonzalo³ , García Gómez Carmen⁴ 

¹Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus El Grullo, Km 5 Carretera El Grullo-Ejutla s/n, Puerta de Barro, C.P. 48740 El Grullo, Jalisco, México.

²Universidad de Colima, Km 9 Carretera Colima-Coquimatlán C.P. 28400 Coquimatlán, Colima, México.

³Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez S/N, Unidad Universitaria, C.P. 21280 Mexicali, Baja California, México.

⁴Universidad Autónoma de Yucatán, Km 1 Carretera Mérida-Tizimín, Cholul. C.P. 97305 Mérida, Yucatán, México.

Autor de correspondencia: Francisco José Martín del Campo Saray, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus El Grullo, El Grullo, Jalisco, México. E-mail: francisco.martindelcampo@elgrullo.tecmm.edu.mx, ORCID: 0000-0001-7211-5366.

Recibido: 13 de Julio del 2020

Aceptado: 24 de Agosto del 2020

Publicado: 29 de Agosto del 2020

Resumen. - El potencial de habitabilidad térmica y el diseño de espacios públicos exteriores, establecen las condiciones de ambiente térmico de sus habitantes por la interrelación de sus componentes (Sevilla, 2008). En la ciudad de El Grullo, Jalisco, México, se considera que condiciones de clima cálido semiseco en periodo de verano, reduce niveles de habitabilidad térmica en espacios de convivencia públicos exteriores, revisión de literatura hasta 2019, indica que estudios sobre habitabilidad térmica en México, han sido desarrollados básicamente en vivienda y edificación, parte de lo que justifica la elaboración de este estudio. El objetivo de esta investigación es presentar el proceso de desarrollo de un Índice de Habitabilidad Térmica (IHT) para espacios de convivencia públicos exteriores, a partir de la estimación del efecto de variables físicas, meteorológicas y termo fisiológicas del habitante, en periodo frío. El caso de estudio fue la población de El Grullo y se utilizó una metodología descriptiva, no experimental y transversal. Después del análisis documental y necesidades del estudio, se adecuó la Fórmula de Confort (COMFA) desarrollada por Brown y Gillespie (1995). De acuerdo al diagnóstico bioclimático de horas de confort para El Grullo y el análisis de áreas de estudio, se aplicaron 554 cédulas de información de habitante y 98 de ambiente térmico y contexto urbano para periodo frío. Para alcanzar valores del IHT, se evaluó nivel de desempeño de cada indicador en función de complejidad, relevancia y accesibilidad de información, para análisis de datos se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman y con base en los



resultados obtenidos, se determina que el desarrollo del IHT contribuye a la relación y adecuación entre el hombre y su entorno, y es referido a la integración que resulta de la capacidad de satisfacer las necesidades humanas y sus expectativas de desarrollo y convivencia en un espacio público exterior, además el IHT funciona como herramienta de diseño urbano y sistema de evaluación como propuesta para mejorar las condiciones de confort y de habitabilidad de dichos espacios.

Palabras clave: Índice de habitabilidad, sensación térmica, ambiente térmico, paisaje urbano, contexto urbano.

Abstract. - The potential for thermal habitability and the design of outdoor public spaces establish the thermal environment conditions of its inhabitants due to the interrelation of its components (Sevilla, 2008). In the city of El Grullo, Jalisco, Mexico, it is considered that semi-dry warm weather conditions in the summer period, reduce levels of thermal habitability in outdoor public coexistence spaces, literature review until 2019, indicates that studies on thermal habitability in Mexico, have been developed basically in housing and building, part of what justifies the preparation of this study. The objective of this research is to present the development process of a Thermal Habitability Index (IHT) for outdoor public coexistence spaces, from the estimation of the effect of physical, meteorological and thermo-physiological variables of the inhabitant, in the cold period. The case study was the population of El Grullo and a descriptive, non-experimental and transversal methodology was used. After the documentary analysis and study needs, the Comfort Formula (COMFA) developed by Brown and Gillespie (1995) was adapted. According to the bioclimatic diagnosis of comfort hours for El Grullo and the analysis of study areas, 554 inhabitant information cards and 98 of thermal environment and urban context for cold period were applied. To reach IHT values, the performance level of each indicator was evaluated based on complexity, relevance and accessibility of information, Spearman's correlation coefficient was used for data analysis and, based on the results obtained, it was determined that the development The IHT contributes to the relationship and adequacy between man and his environment, and is referred to the integration that results from the ability to meet human needs and their expectations of development and coexistence in an outdoor public space, also the IHT works as a tool urban design and evaluation system as a proposal to improve the conditions of comfort and habitability of these spaces.

Keywords: Habitability index; thermal sensation; thermal environment; urban landscape; urban context.



1. Introducción

Las condiciones de habitabilidad térmica han estado presentes en la valoración geográfica de elementos territoriales, conforme a estos criterios, se han considerado históricamente las orientaciones distintas o emplazamientos de casas y edificios. Por otra parte, no existe un nivel definido o estándar óptimo de habitabilidad térmica, ya que sus resultados dependen de cómo se combinen un conjunto de factores físicos, sociales, culturales y psicológicos del entorno del individuo, así como de su experiencia que condiciona los niveles de satisfacción del ser humano [1].

Se reflexiona, que el proceso de desarrollo urbano ha producido situaciones medioambientales que hacen que la calidad de vida de los habitantes en una ciudad sea difícil, de acuerdo al contexto socio económico, demográfico, político y cultural, este aspecto se refleja en las marginaciones de sectores poblacionales producto de los fenómenos de asentamientos irregulares y una planeación urbanística deficiente, lo que genera que se condicione la calidad de vida de personas en un momento y lugar determinado. La habitabilidad está inmersa en un proceso cambiante en menor o mayor escala, de ahí la importancia de integrar disciplinas que permitan estudiar a profundidad este concepto, lo cual es susceptible del comportamiento del ser humano ante tal situación descriptiva.

La habitabilidad térmica para personas que se encuentran en espacios de convivencia públicos exteriores es uno de los factores que influye para realizar actividades al aire libre en andadores, canchas deportivas, plazoletas, parques urbanos, explanadas, zonas infantiles, áreas verdes y vialidades. La cantidad e intensidad de estas actividades se aprecia afectada por el nivel de incomodidad experimentado por los usuarios

cuando se exponen a las condiciones meteorológicas de dichos lugares. La primera condición de confort es la neutralidad térmica, es decir, que una persona no sienta demasiado calor o demasiado frío, ya que tolera el ambiente térmico [2].

Simultáneamente, se señala que la habitabilidad como característica evoluciona con la sociedad y debe adaptarse a los modos de vida distintos presentes en ella. Asimismo, su configuración está vinculada a la disponibilidad de recursos y en el futuro próximo, a las limitaciones sociales y capacidad emisiva de las actividades involucradas en su generación y mantenimiento [3].

Desde la perspectiva del proyecto de estudio, las condiciones meteorológicas y características de mobiliario en un espacio de convivencia público exterior determinan el uso y permanencia de sus usuarios, a diferencia de espacios interiores en donde las condiciones de habitabilidad térmica pueden ser controladas, donde se aísla al ser humano de las variables ambientales que afectan su desempeño físico o emocional.

Se ofrece un panorama de la vinculación estrecha entre el espacio público, la ciudad y personas, reflexiona teóricamente sobre los conceptos que fusionan esa interrelación y propone un modelo alternativo: el urbanismo del lugar público. Que se entiende, como el área pública que lleva a crear redes de interacción, negociación e intercambio, en el contexto de la sociedad urbana, de ahí la importancia de que se establezca un equilibrio entre el Urbanismo y el espacio público, situación que apremia a sus habitantes y consolida los valores culturales [4].

Con base en lo señalado, es básico comprender los componentes de un espacio de convivencia público exterior, su relación con el contexto urbano y el habitante, donde se entiende, que el grado de habitabilidad térmica presente,



condiciona el uso, asistencia y permanencia de personas a estos lugares y les permite obtener un grado de bienestar. De acuerdo con la literatura revisada sobre el tema en cuestión, se analizan algunos estudios realizados en México y que han contribuido con aporte de conocimiento basado en pruebas científicas.

En Mexicali, México, efectuaron un estudio correlacional bajo criterios de evaluación subjetiva de ISO 10551:1995 y se desarrolló un índice de habitabilidad térmica basado en percepciones cualitativas y cuantitativas. Con base en los resultados obtenidos, se observó que, en el caso de la sensación térmica personal, la diferencia entre lo percibido en el momento (sensación térmica) y lo deseado a largo plazo (preferencia térmica), se demuestra con variaciones entre la temperatura neutral media, mientras que, en el caso de la satisfacción del ambiente térmico, permite entender que se acepta la condición de ambiente térmico, pero no se tolera [5].

En Colima, México, realizaron un estudio transversal donde presentaron un reporte técnico y buscaron determinar la amplitud del rango de confort térmico para personas que habitan en clima tropical subhúmedo de la ciudad de Colima. En este reporte demostraron que, de acuerdo con los resultados obtenidos, el rango de confort no es necesariamente equidistante a la temperatura de neutralidad, los individuos son participantes activos en el equilibrio dinámico que existe entre el cuerpo humano y el ambiente que lo rodea, por lo que la temperatura de confort es un resultado de la interacción entre los sujetos y su ambiente térmico [6].

Un nicho de oportunidad que se aprecia para realizar la investigación, es que los estudios sobre habitabilidad térmica en México, en términos generales, se han desarrollado en el sector de vivienda y edificaciones, por lo que

específicamente la habitabilidad de espacios de convivencia públicos exteriores se encuentra poco abordada, razón que motivó a realizar el estudio y tener un conocimiento profundo del tema en cuestión.

Con relación a índices de habitabilidad, presentaron los resultados de una investigación relacionada con el índice de habitabilidad térmica para la vivienda, se realizó el diseño de investigación basado en un estudio correlacional, bajo criterios de evaluación subjetiva de la Norma ISO 10551:1995 y se construyó un índice de habitabilidad térmica basado en cuatro indicadores: sensación, preferencia, aceptación y tolerancia. Los dos primeros de tipo psicofisiológico, evaluados por correlación en función de mediciones de variables meteorológicas con sensaciones térmicas percibidas. Los dos últimos de tipo psicológico basados en una escala subjetiva de satisfacción con respecto al ambiente térmico [5].

Por otro lado, se presentó un trabajo en el periurbano de Mar del Plata, Argentina, en tres cortes temporales: 1991, 2001 y 2011. Para ello, seleccionaron indicadores y construyeron un Índice de Habitabilidad (IH) mediante una metodología descriptiva que permite comparar la evolución de sustentabilidad social en los períodos comprendidos y analizar su distribución espacial. La evolución del IH reveló que las mejoras significativas se produjeron de 1991 al 2001, asociado con la calidad de la vivienda y del hábitat. Del 2001 al 2011, las mejoras tuvieron menor relevancia y se vincularon con la calidad sanitaria, que proviene de la extensión de los servicios de saneamiento básicos [7].

A su vez, en Río Verde, México, se realizó investigación de análisis de la habitabilidad básica e índice de confort térmico, el modelo se consideró con los elementos que intervienen en el hábitat: el sujeto, el objeto y el contexto. Como



conclusión, fue indispensable evaluar las bondades de la tradición constructiva y profundizar en la evaluación de los materiales de sus elementos constructivos, en términos de habitabilidad se afirmó que las viviendas presentaron variaciones de confort térmico de acuerdo con su tipo de envolvente arquitectónica y material que presenta, así como la exposición solar independiente de la orientación de la edificación o espacio urbano [8].

También se efectuó una investigación en la ciudad de México, en la que consideraron tres factores fundamentales: jerarquía (nicho que ocupa en el sistema y radio de influencia), características físicas y función urbana en el espacio público. Como resultado, se obtuvo que el objeto en el entendimiento del efecto de la estructura urbana contemporánea sobre el espacio abierto forme parte de un proyecto ambicioso y que analiza todas las partes de la ciudad [9].

Con relación a habitabilidad urbana, se analizó la interacción entre microclima y morfología urbana para determinar el grado de confort térmico de zonas de densidad baja en una ciudad de clima árido (Mendoza-Argentina). En dicho estudio se seleccionaron siete canales viales urbanos (CVU), que se monitorearon microclimáticamente. Los resultados revelaron que el confort térmico en los CVU analizados varía entre un 20 y 70%, mostraron que la combinación entre huella urbana y forestación determina el grado de habitabilidad térmica [10].

Otro estudio se llevó a cabo en Cataluña, España, el enfoque utilizado en el trabajo fue de tipo descriptivo en habitabilidad y sociedad, para que en un contexto de sostenibilidad garantice no afectar a las generaciones futuras; como conclusión, se afirmó que la conversión del actual sistema productivo industrial hacia un modelo sostenible cierra los ciclos materiales de

los recursos implicados en las actividades humanas y deben abordarse desde la definición de las utilidades para satisfacer las necesidades básicas de la ciudadanía [3].

El enfoque aprecia un modelo de desarrollo para una ciudad sustentable donde se respete el medio ambiente, se optimicen recursos energéticos y se aprovechen fuentes renovables, garantías que se brindan a usuarios en espacios de convivencia públicos exteriores donde la productividad en la ciudad resulte exitosa.

Por otra parte, se generó un estudio en Mérida, México, acerca de un diseño metodológico para la habitabilidad urbana de espacios públicos de estancia, utilizaron tres etapas: descriptiva, analítica e integrativa. Como conclusión, obtuvieron que este factor tiene estudios escasos e identificaron como constantes la accesibilidad, áreas verdes y el espacio público, lo que indicó que son elementos básicos para su análisis [11].

Además, en Colima, México, analizaron los factores de habitabilidad, a través de una propuesta de indicadores, la cual agruparon en calidad espacial, ambiental y de servicios. Se atendieron tres aspectos de condiciones de habitabilidad: comodidad, conocimiento y compromiso. El método utilizado resultó apropiado para comparar casos de estudio ubicados en condiciones climáticas distintas, la comparación se hizo a partir de su propio referente de confort. Resultó útil para evaluar modelos similares que se aplican en regiones climáticas diferentes, bajo la condición de que los datos medidos observen el protocolo de registro [6].

En la ciudad de Torreón, México, se elaboró una investigación descriptiva sobre áreas verdes en la zona urbana, visualizó la problemática de sitios en su contexto urbano, lo que dio como resultado la necesidad de conservar y adecuar las zonas



verdes para una planificación urbana mejor y que contribuyan con el factor de habitabilidad [12].

En la ciudad de Colima, México, realizaron un estudio sobre la relación del Urbanismo, sustentabilidad y habitabilidad urbana. La investigación consideró como base los estudios de Mercado (1991, 1994 y 1995), en dicho trabajo se explica que Landázuri elaboró un instrumento en donde mide básicamente tres factores: el diseño arquitectónico, las transacciones psicológicas y la habitabilidad interna de la vivienda, para ello analizó una serie de variables conectadas con la dimensión de la casa, la conectividad o circulaciones, la socioperatividad, la vigilabilidad, la seguridad, el placer, la activación, el control, la significatividad, la operatividad y la privacidad [13].

Además, se investigó sobre la habitabilidad urbana como condición de calidad de vida, el estudio fue descriptivo e indicó que la habitabilidad, se puede entender como el acto perceptivo que implica una interpretación de la expresión (más que como una valoración) de la interrelación entre el mundo psicofísico, con ciertas prácticas sociales del que habita, y la propuesta formal del objeto habitable, a saber: el objeto arquitectónico, en cuya espacialidad está implícita una significación tal que produce un modo de habitar [14].

La Agencia de Ecología Urbana de Barcelona presentó un documento de indicadores relacionados con espacio público y confort térmico. Los indicadores y condicionantes propuestos respondieron a la ordenación del espacio en tres niveles: altura, superficie y subsuelo. A partir de esta organización, se obtuvo una liberación del espacio en superficie y se favoreció su uso para el esparcimiento y desarrollo de las relaciones sociales entre la ciudadanía [15].

Se analiza la importancia de los indicadores urbanos para el desarrollo de la ciudad, que tiene un orden espacial, que se aprecia un equilibrio en cuanto a densidad de habitantes se refiere, con usos de suelo adecuados, todo ello es ejemplo, de cómo se participa en la disminución de la segregación social y se habilitan oportunidades de mejoramiento y calidad de vida.

Desde otra perspectiva, se realizó un estudio sobre condiciones de habitabilidad del área urbana de Mar del Plata, Argentina, utilizaron la técnica de Puntaje Omega que integra cinco dimensiones (educativa, sanitaria, económica, habitacional y ambiental). Los resultados obtenidos demuestran que áreas numerosas del sector sur se alejan de los objetivos del desarrollo urbano sostenible, donde se requieren estrategias de ordenamiento territorial que direccionen el crecimiento de la ciudad y den respuesta a los problemas que inciden en las condiciones de habitabilidad [16].

En Nagoya, Japón, se realizó un estudio donde encontraron que la comodidad humana al aire libre es un parámetro esencial para evaluar la calidad del microclima urbano y proporcionar directrices para el desarrollo urbano sostenible. El objetivo de este trabajo fue obtener una introducción integral al tema de la comodidad humana al aire libre y comprender los procedimientos existentes del entorno urbano [17].

En México, específicamente en la ciudad de Nogales, Sonora, con clima cálido semiseco, se efectuó un estudio con el objetivo de evaluar el confort en espacios públicos con relación a su habitabilidad temporal, se seleccionaron dos casos de estudio, y se llevó a cabo la evaluación de la sensación térmica percibida, mediante la aplicación de encuestas a los usuarios, en las que se incorporaron criterios como tipo de vestimenta, género, actividad, edad, y preguntas



sobre la satisfacción, permanencia, seguridad y uso adecuado del sitio [18].

A su vez, evaluaron un método para desarrollar un modelo de confort térmico adaptativo basado en la temperatura exterior media de funcionamiento para el pueblo chino. La determinación fueron dos parámetros importantes (temperatura neutra y temperatura exterior) del modelo de confort térmico adaptativo [19].

En Estados Unidos, realizaron un estudio meteorológico para simulaciones de confort térmico al aire libre, donde se combinó una placa simple de convección Modelo de Capa Límite (CBL) y Modelo de Superficie Urbana (ULSM) (aquí se consideraron dos ULSM). Se simuló la temperatura del aire y la humedad durante el día y se estimó la energía de superficie urbana y los flujos de balance de agua para cambios en la cobertura de la superficie terrestre [20].

Los estudios revisados en este apartado, analizaron problemáticas que corresponden a la habitabilidad de espacios de convivencia públicos exteriores, es decir, cómo los habitantes de cualquier localidad han perdido el sentido de pertenencia y gusto por estos lugares, ya que repercute en su estado físico, psicológico y emocional. Se señala, que el confort térmico participa directamente en los indicadores de habitabilidad térmica de un espacio habitable. El análisis de la literatura, permite observar que la discusión sobre la habitabilidad de áreas públicas se ha desarrollado de manera gradual e indirecta en las grandes ciudades o urbes, cuando debido a los cambios acelerados de estos lugares es más evidente la necesidad de buscar el restablecimiento del uso, la apropiación y la adecuación del espacio público como componente esencial y como referente de calidad de vida urbana y confort.

Se subraya que, mejorar las condiciones de habitabilidad de espacios exteriores, desde el punto de vista térmico, demanda considerar todas las variables que participan del balance de energía del ambiente construido. En las ciudades, los canales viales urbanos (CVU), plazas y parques dan forma a áreas exteriores. Particularmente, los CVU cubren más de un cuarto del total del área urbana, por lo tanto, su morfología, materialidad, orientación y esquema de forestación, determinan el clima urbano [10].

Este señalamiento va asociado a la importancia del mobiliario urbano incluyente en un espacio público exterior, así como el tipo de vegetación y entorno inmediato, variables que pueden afectar de manera conjunta o aislada por la transferencia de calor que se puede emitir a un grupo de habitantes y reducir el grado habitabilidad térmica.

A pesar de la relación entre hábitat y calidad de vida de personas, señalan que espacios públicos han evolucionado de una manera desagregada en las ciudades, contrario al crecimiento y abastecimiento de servicios de éstas, las nuevas construcciones toman una prioridad urbana y externalan la negativa al espacio público [21].

Se analiza, que esto conlleva a una desintegración de sectores sociales y un aislamiento de oportunidades en donde la convivencia mutua repercute en las acciones individuales y colectivas de un fragmento urbanístico, y a su vez, compromete a las autoridades de un gobierno en rehabilitar espacios de convivencia públicos exteriores con garantías mejores y calidad de vida.

El confort ambiental en espacios exteriores es una de las características esenciales de la calidad del medio ambiente urbano, ya que bajo condiciones adecuadas (confort térmico, lumínico, acústico, psicológico) es posible propiciar actividades en calles, plazas, patios,



parques, etcétera. La cantidad e intensidad de tales actividades es afectada por el nivel de discomfort experimentado por los usuarios cuando se exponen a las condiciones climáticas de esos lugares [22].

Aunado a lo anterior, se entiende que las personas desean pasar tiempo de ocio y convivencia en espacios al aire libre, cuando dichas áreas presentan condiciones adecuadas de permanencia, seguridad y confort ambiental, de lo contrario estos lugares lucirían solitarios y sin garantías de confort para sus usuarios.

De acuerdo a lo examinado, se entiende que un índice de habitabilidad se compone de indicadores y parámetros de carácter cuantitativo y cualitativo y que se conforman en una escala del 0 al 1, según su función y lo que en ese momento se valora.

El desarrollo de indicadores ambientales debe de constituir un proceso con fundamento científico y, a la vez, con un contenido social y político expresamente reconocido. Ambos elementos deben de constituir la base de un instrumento estadístico que busque cumplir con la función de información para la toma de decisiones en materia de medio ambiente [23].

Los conjuntos de indicadores o índices integrados han sido utilizados en una gran variedad de disciplinas para medir conceptos complejos y multidimensionales que no se pueden observar ni medir directamente. El valor de estos reside en su habilidad de sintetizar una gran cantidad de información en un formato simple y práctico. La sencillez de estos índices integrados facilita el acceso a la información al público en general y a otros usuarios potenciales [23].

Se afirma, que un índice de habitabilidad integra los niveles de desempeño de los parámetros distintos en un indicador, que apoye la toma de

decisiones relacionada con la calidad de vivienda, y la capacidad en hábitos de habitabilidad que se relacionan con el índice obtenido [24].

Asimismo, se elaboró una serie de parámetros de habitabilidad que contribuyen con el espacio donde se desenvuelve el usuario, la tabla 10 muestra los factores de habitabilidad y al analizarla, se considera que estos factores pudieran extrapolarse y adecuarse a espacios de convivencia públicos exteriores, por las características que se presentan y por sus componentes. Asimismo, la información presentada nos ofrece un panorama de lo que interviene en cuestión de habitabilidad y la forma de abordarla por parte de los usuarios para obtener un mejor confort y calidad de vida [25].

La selección de objetivos e indicadores constituyen una tarea donde el proceso requiere compatibilizar fuentes de información y abarcar los aspectos que se pretenden evaluar con un índice. Este se construyó mediante la integración de cinco aspectos implicados en el concepto: calidad educativa, calidad sanitaria, calidad de la vivienda, calidad del hábitat y calidad ambiental [7].

Bajo esta perspectiva y con lo analizado en la literatura de habitabilidad, se puede decir que los indicadores que participan y definen las condiciones de las variables a estudiar en el índice de habitabilidad térmica son los siguientes y se presentan en la figura 1.



Figura 1. Indicadores de habitabilidad térmica.
Fuente: Elaboración propia.

También, se identifican cuatro enfoques aplicados a la habitabilidad y se considera aportan a la investigación. El primero proyecta la habitabilidad en una condición de intangible, el segundo enfoque se relaciona directamente con la calidad de vida y puede ser cuantificable y controlable por el diseño, el tercero lo analiza en términos de confortabilidad post-ocupacional, que conduce a evaluar las condiciones en las que se habita y el cuarto enfoque sugiere que la habitabilidad se puede entender como el acto perceptivo de la relación en el mundo psicofísico con las prácticas sociales de quien lo habita y la propuesta formal del objeto habitable en la Arquitectura [21].

Con relación a los enfoques presentados, un espacio arquitectónico requiere cualidades específicas para funcionar como tal, se habla del factor psicofisiológico de la persona, de las características físicas del espacio a habitar, el confort y calidad de vida que te puede brindar dicho espacio y el grado de aceptación, adaptabilidad, preferencia y tolerancia que un individuo tenga en un espacio arquitectónico

interior o exterior. Estas situaciones, cuando se encuentran en equilibrio brindan a la ciudadanía garantías de satisfacción personal y de habitabilidad.

Los indicadores e índices son una creación intelectual, cuya precisión depende del contexto en el que se formulan, con un nivel alto de complejidad, derivada de la incertidumbre implícita, pero que son capaces de proporcionar una visión integral. El potencial de indicador está limitado por la calidad de los datos que lo sustentan, y es necesario establecer las características y criterios que debe reunir, con la finalidad de asegurar que tenga la confiabilidad requerida [26].

Se refiere que los indicadores deben ser específicos y estar vinculados con los fenómenos sobre los que se pretende actuar, por lo anterior, se deben tener objetivos y metas claras para poder evaluar y decidir de forma pertinente, asimismo, indica que los indicadores deben ser relevantes y oportunos, ya que proveen información suficiente para la comprensión de lo que se estudia [27].

Por consiguiente y de acuerdo a lo analizado, se entiende que los indicadores para conformar un índice deben reunir ciertas características, por ejemplo: que sea sencillo, práctico, de medición e interpretación fácil, aplicable a diversas escalas, comparable y validable entre los datos teóricos y los de campo. Para operacionalizar una variable, es necesario partir de una definición teórica de un conjunto de indicadores que expresan el comportamiento de la variable estudiada y poseen un grado de relevancia y confiabilidad.

De modo que las variables son susceptibles de ser sistematizadas, a través de los indicadores correspondientes, las hipótesis elaboradas teóricamente como relaciones entre ellas pueden también sufrir un proceso similar. Para ello, se



operacionalizan cada una de las variables que intervienen dónde se definen sus indicadores. Luego se procede a relacionar las definiciones operacionales entre sí, de la manera en que se hacía al formular el supuesto general o teórico. Así se obtiene una hipótesis operacional, que puede ser directamente probada o refutada en la práctica [28].

De acuerdo a lo anterior, los indicadores para desarrollar un índice de habitabilidad térmica deben reunir características que engloben una totalidad de aspectos a evaluar, es decir, tomar en cuenta a los habitantes, a las condiciones meteorológicas y condiciones del espacio en todo su contexto, para poder obtener resultados confiables. En adición, un índice de habitabilidad térmica, requiere la evaluación del ambiente térmico y las condiciones del espacio donde se desenvuelve el habitante de una ciudad, además constituye los niveles de desempeño de los parámetros diversos de un indicador, que vincula las estrategias de progreso y toma de decisiones relacionado con lo que se obtiene.

2. Metodología

La planeación de la metodología que se llevó a cabo, permitió recabar, registrar y analizar los datos del fenómeno de estudio, con la verificación de fuentes consultadas y la postura crítica de las perspectivas teóricas diversas, que auxilian para que el estudio sea objetivo y posea un sustento científico, de validez y confiabilidad.

El diseño de la investigación y de acuerdo con las características de sus variables, fue una metodología de tipo descriptiva, no experimental y transversal con el fin del desarrollo de un Índice de Habitabilidad Térmica (IHT) en espacios de convivencia públicos exteriores en clima cálido semiseco. El desarrollo de un IHT en espacios de convivencia públicos exteriores, requirió de un conjunto de parámetros que miden los aspectos que lo componen y evalúan indicadores que

definen las condiciones de habitabilidad térmica en dichos espacios.

Con base en bibliografía analizada y de acuerdo con las necesidades del estudio, se propuso utilizar y adecuar la Fórmula de Confort (COMFA), utilizado en estudios urbanos y paisajismo ya que posibilita una diferenciación mayor de las características urbanas y de vegetación, en adición a las variables de ambiente térmico que afectan a los habitantes de un espacio exterior [29].

A continuación, se muestra la ecuación del balance de energía COMFA:

$$S=M+R \text{ absorbida}-\text{Conv}-\text{Evap}-\text{TR emitida}$$

Dónde:

M: energía metabólica producida por el organismo; *Rabsorbida*: radiación solar y terrestre absorbida; *Conv*: calor sensible perdido o ganado por convección; *Evap*: pérdida evaporativa de calor; *TR emitida*: radiación terrestre emitida.

Para desarrollar un Índice de Habitabilidad Térmica (IHT), se agrupó un conjunto de parámetros en mecanismos de acción que surgen desde el análisis de los instrumentos en el área de intervención y que se ordenaron según el criterio con el que se relacionan. Para llevar a cabo el IHT, se tomaron como referencia los mecanismos de huella urbana, perfil y forestación del modelo [10].

Para alcanzar los valores del IHT, se propuso evaluar el nivel de desempeño de cada indicador en función de su complejidad, relevancia y accesibilidad de información, que corresponde al espacio de convivencia público exterior, en cuanto a condiciones del ambiente térmico, del habitante y contexto urbano; y a su vez, realizar una ponderación del IHT en una escala de cuatro puntos.

De acuerdo con lo analizado, los grupos de indicadores se han conformado, según la afinidad



de relación conceptual de lo que representa y el grado de operatividad que se desea tener con el uso de IHT.

Además, se señala que como parte del proceso metodológico que se llevó a cabo, se tomó como base el método Delphi con la opinión y resultados de encuestas a investigadores expertos miembros del Sistema Nacional de Investigadores en el área de Urbanismo y medio ambiente con el factor de complejidad, relevancia y accesibilidad de

información, se optó el nivel de complejidad por la practicidad y operatividad de variables, una vez obtenida la información, se realizó un ajuste de los indicadores que se tenían originalmente y se eliminaron de acuerdo a lo señalado, los que no se consideraron trascendentes para el desarrollo del IHT, con la finalidad de que resulte reproducible, medible y adaptable; y por consiguiente, extrapolarse a otros lugares y sea operativo. Ver tabla 1.

Tabla 1. Desarrollo de un Índice de Habitabilidad Térmica (IHT).

Categoría	Nombre del indicador	Unidad de medida
Ambiente térmico	1. TBS promedio de máximas periodo cálido y frío.	°C
	2. TBS promedio de mínimas periodo cálido y frío.	°C
	3. TBS promedio de máximas de SV periodo cálido y frío.	°C
	4. TBS promedio de máximas de SH periodo cálido y frío.	°C
	5. TBS promedio de máximas de SVMP periodo cálido y frío.	°C
	6. HR promedio de máximas periodo cálido y frío.	%
	7. VV promedio periodo cálido y frío.	m/s
	8. RSPH promedio periodo cálido y frío.	W/m ²
Habitante	9. Nivel de actividad metabólica.	Met
	10. TN periodo cálido y frío.	°C
	11. Porcentaje de PT periodo cálido y frío.	%
	12. Porcentaje de TT periodo cálido y frío.	%
	13. Porcentaje de AT periodo cálido y frío.	%
Contexto urbano	14. Área de vialidades y rodamiento.	m ²
	15. Área de andadores, circulación de peatones y no motorizados.	m ²
	16. CA promedio generado por vehículos estacionados periodo cálido y frío.	W/m ²
	17. AU promedio de AH periodo cálido y frío.	W/m ²
	18. Área promedio de edificación.	m ²
	19. Altura promedio de edificación.	m
	20. AU promedio de AV periodo cálido y frío.	W/m ²
	21. Área promedio de copa de árboles.	m ²
	22. Área promedio de sombreado de árboles periodo cálido y frío.	m ²
	23. PS promedio periodo cálido y frío.	%
	24. AU promedio de MP periodo cálido y frío.	W/m ²
	25. AV promedio de MP.	m ²

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar, que el IHT no busca establecer niveles de requerimientos mínimos señalados

normativamente, sino fungir como instrumento homogéneo de evaluación según los objetivos y



la finalidad de su aplicación en espacios de convivencia públicos exteriores.

De acuerdo a lo anterior, la investigación se realizó en la población de El Grullo, Jalisco, que se localiza en la región Sierra de Amula del Estado de Jalisco, México, con una latitud de 19°48'22.80" N 104°13'09.29" O.

Este municipio se caracteriza por tener un tipo de clima cálido semiseco, aunque algunos meses del año las condiciones cambian a subhúmedo influido por el temporal de lluvias, la temperatura máxima promedio es de 35°C, la mínima promedio de 11°C y la temperatura media anual es de 23.9°C con una precipitación media anual de 900 mm, una altitud de 876 m.s.n.m. y humedad relativa promedio del 35% [30]. Ver figura 2.



Figura 2. Vista aérea de El Grullo, Jalisco. Fuente: Imagen obtenida de Google Earth.

Se tomó para el muestreo dos lugares representativos de El Grullo, Jalisco (Jardín Municipal “Ramón Corona” y Alameda Municipal). Estos lugares son espacios de convivencia públicos exteriores para la comunidad de El Grullo, Jalisco. A continuación, se muestra su respectiva ubicación. Ver figuras 3 y 4.



Figura 3. Vista aérea de Jardín Municipal. Fuente: Imagen obtenida de Google Earth.



Figura 4. Vista aérea de Alameda Municipal. Fuente: Imagen obtenida de Google Earth

De acuerdo con el diagnóstico bioclimático de las horas de confort para la población de El Grullo, Jalisco y el análisis de áreas de estudio, el muestreo se realizó con habitantes de espacios de convivencia públicos exteriores (Jardín municipal y Alameda municipal) con edades entre los 12 y 60 años de edad, sin características de enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurológicas, mujeres embarazadas o en periodo de lactancia. La fecha en que se llevó a cabo el muestreo de periodo frío, fue del 26 de noviembre al 09 de diciembre del 2018 y se realizó un total de 554 cédulas de información de habitante y 98 cédulas de información de ambiente térmico y contexto urbano, se tuvo el apoyo de 5 alumnos de Arquitectura de octavo y noveno semestre del Instituto Tecnológico José



Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus El Grullo.

Con relación a los instrumentos de recolección de datos, se utilizaron cédulas de información para evaluar condiciones del habitante y cédulas de información para estimar condiciones del ambiente térmico y contexto urbano. Para el diseño de la cédula de información en el rubro de preferencia térmica se realizó conforme a la norma ISO 7933:2004 (Estrés térmico con el cálculo de sobrecarga estimada) y norma ISO 10551:1995 (Efecto del ambiente térmico con el uso de escalas de juicio subjetivo) [31, 32].

El montaje de los instrumentos de medición fueron por medidor de estrés térmico (marca EXTECH modelo HT30), psicrómetro digital (marca EXTECH modelo RH401), anemómetro (marca BENETECH modelo GM816) y registrador de datos marca EXTECH modelo RHT10, se colocaron sobre una base con ménsula de madera a una altura de 1.30 m con respecto al nivel de suelo y el registrador de datos se ubicó en un área representativa del espacio, en horario de 08:00 a 20:00 horas a una altura de 1.30 m del nivel de suelo, según recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial [33]. Asimismo, se colocaron en zonas que estuvieran libres de árboles y edificios cercanos al punto de medición, no obstante, los instrumentos de medición se colocaron a 2 m de distancia del habitante al momento de la entrevista, con la finalidad de estimar de manera correcta las variables de ambiente térmico. Ver figuras 5 y 6.



Figura 5. Aplicación de cédula de información habitante. Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Aplicación de cédula de información habitante. Fuente: Elaboración propia.

Con relación al muestreo en las áreas de estudio, se contempló el registro de datos de las variables de ambiente térmico (temperatura de bulbo seco, temperatura de globo gris, radiación solar, humedad relativa y velocidad de viento) se estimaron cada 15 minutos en el horario de 08:00 a 20:00 horas, además, cada dos horas se registraron datos de temperatura de bulbo seco de superficies verticales, horizontales y de mobiliario público; y se estimó con la misma frecuencia, el calor antropogénico generado por vehículos estacionados y el albedo urbano de áreas verticales, horizontales y de mobiliario público. Ver figura 7 y 8.



Figura 7. Registros de ambiente térmico y contexto urbano. Fuente: Elaboración propia.



Figura 8. Registros de ambiente térmico y contexto urbano. Fuente: Elaboración propia.

Los instrumentos utilizados fueron psicrómetro digital EXTECH modelo HT30 (factor de resolución: humedad 0.0 a 100.0%, temperatura del aire (-20 a 50 ° C) (-4.0 a 122.0 ° F), temperatura infrarroja (-20 a 450 ° C) (-4 a 842 ° F), factor de precisión: humedad ($\pm 3\%$ HR) (10 a 90%), temperatura del aire (± 1 ° C) (± 1.8 ° F), temperatura infrarroja ($\pm 3\%$ lecturas o ± 3 ° C / 6 ° F), medidor de estrés térmico marca EXTECH modelo RH401 (resolución de (0.1 ° F / ° C; 0.1% HR), anemómetro digital marca BENETECH modelo GM816 (resolución: 0.1ms, 0.3km / h, 19ft / min, 0.2mph, 0.2Knots) y precisión de ($\pm 5\%$), registrador de datos marca EXTECH modelo RHT10 (factor de precisión: humedad (0 a 20, 20 a 40, 40 a 60, 60 a 80 y 80 a

100%), temperatura (-40 a -10 y +40 a + 70 ° C), temperatura del punto de rocío (25 ° C, 40 a 100% HR), báscula marca WEIGHT WATCHERS y flexómetro marca COOPER de la línea Metromex. Ver Figura 9.



Figura 9. Vista de instrumentos de medición. Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de datos, se realizó la regresión lineal múltiple con las variables meteorológicas y ordinales, obtenidos estos datos se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, La matriz de correlación se calculó mediante el uso del programa estadístico SPSS para Windows.

En este apartado se explica la evaluación de modelos para el desarrollo del índice, señalan que la construcción de un modelo requiere el análisis por etapas de aspectos diversos [34]. Se enumeran a continuación:

1. Desarrollo de un marco conceptual
2. Selección de los indicadores
3. Análisis multivariado
4. Imputación de datos perdidos
5. Normalización de los datos
6. Ponderación de la información
7. Agregación de la información



8. Análisis de robustez y sensibilidad

El desarrollo de un marco es fundamental, puesto que sustenta de manera conceptual la generación del indicador compuesto, es a partir de ese marco que se justifica la construcción del indicador, brinda pertenencia y razón de ser a los valores que se analizan. Una vez definido el marco conceptual, es necesario evaluar los indicadores que se desean estudiar. Esta etapa debe remitirse a un proceso previo de generación, el cuál es básico para la construcción de los mismos e incorporarse a parámetros diversos [35].

Para la construcción del Índice de Habitabilidad Térmica (IHT), se obtuvo del análisis de información relacionada a la investigación y se planteó un diseño de estudio descriptivo, no experimental y transversal, donde se adecuó la fórmula de confort (COMFA) [29]. Se realizó inicialmente una propuesta de indicadores en las categorías de ambiente térmico, habitante y contexto urbano. Posteriormente, se llevó a cabo el método Delphi y con la opinión de los investigadores expertos en el área de medio ambiente y Urbanismo, se efectuó una depuración a 25 indicadores para la construcción del IHT, donde se tomó en cuenta el factor de complejidad, relevancia y accesibilidad de la información. Ver figura 10.

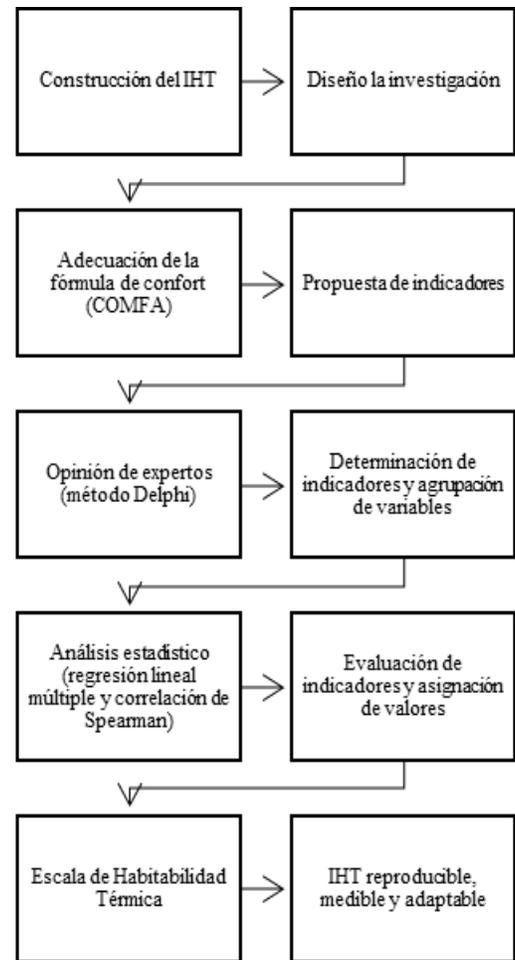


Figura 10. Proceso metodológico para la obtención de un IHT. Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el grupo de indicadores, se hizo una agrupación de variables de las tres categorías y se realizó el análisis estadístico. Cabe señalar, que al efectuar la evaluación de los indicadores del IHT, se asignó un valor a cada variable estudiada y de esta manera se obtuvo la escala de Habitabilidad Térmica del espacio público analizado, lo que determina la validación del índice, que, al contrastar los datos teóricos con los obtenidos en campo, confirma que el IHT es reproducible, medible y adaptable a cualquier lugar sin importar las condiciones meteorológicas que se tengan.

Se aprecia que las ponderaciones mayores corresponden a los indicadores de ambiente



térmico y de habitante, no obstante, los de contexto urbano son más y tienen su nivel de importancia para el desarrollo del índice. De acuerdo a esto, se planteó una escala de cuatro puntos para evaluar los indicadores que participan en el índice señalado y conocer el grado de habitabilidad térmica que posee un espacio de convivencia público exterior.

Fórmula para obtener el grado de habitabilidad térmica.

$$IHT = \frac{(\sum nATi) * 0.40 + (\sum nHi) * 0.25 + (\sum nCUi) * 0.35}{\frac{i = 1}{n}}$$

Donde:

IHT= Índice de Habitabilidad Térmica

\sum = Sumatorio

n= número de casos

i= donde hay que comenzar la suma

ATi= Variables de ambiente térmico

Hi= Variables de habitante

CUi= Variables de contexto urbano

0.40= coeficiente de habitabilidad térmica ambiente térmico

0.25= coeficiente de habitabilidad térmica habitante

0.35= coeficiente de habitabilidad térmica contexto urbano

Se explica, que la propuesta de escala de cuatro puntos es un parámetro de la relación existente entre las variables de ambiente térmico, de habitante y de contexto urbano, que otorga utilidad en espacios de convivencia públicos exteriores y define el nivel de habitabilidad térmica. Ver tabla 2.

Tabla 2. Propuesta de valoración de habitabilidad térmica.

Escala de habitabilidad térmica	
< 0.25	Habitabilidad térmica baja
0.25 < 0.50	Habitabilidad térmica media
0.50 < 0.75	Habitabilidad térmica moderada
0.75 < 1.0	Habitabilidad térmica alta

Fuente: Elaboración propia con base en Duarte, 2013

3. Resultados y Discusiones

Ahora, se muestran resultados del estudio realizado en los espacios de convivencia públicos exteriores para el periodo frío. Ver figuras correspondientes al periodo frío.

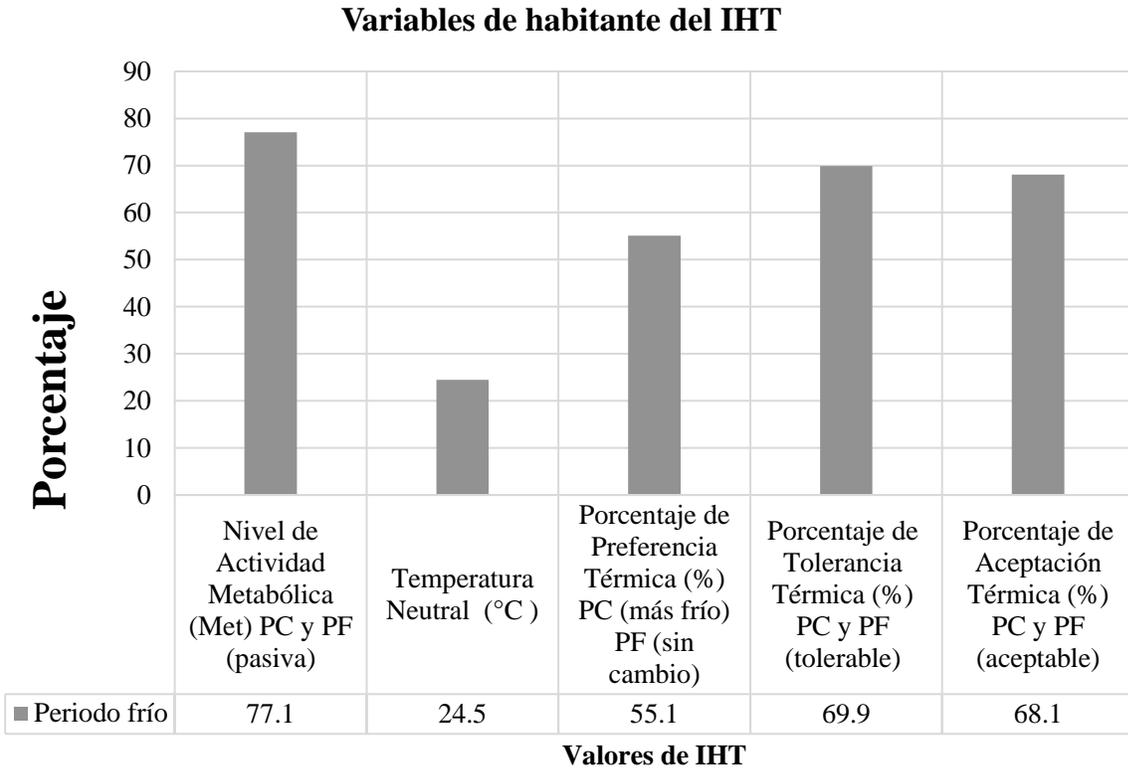


Figura 11. Datos de variables de ambiente térmico del IHT periodo frío. Fuente: Elaboración propia.

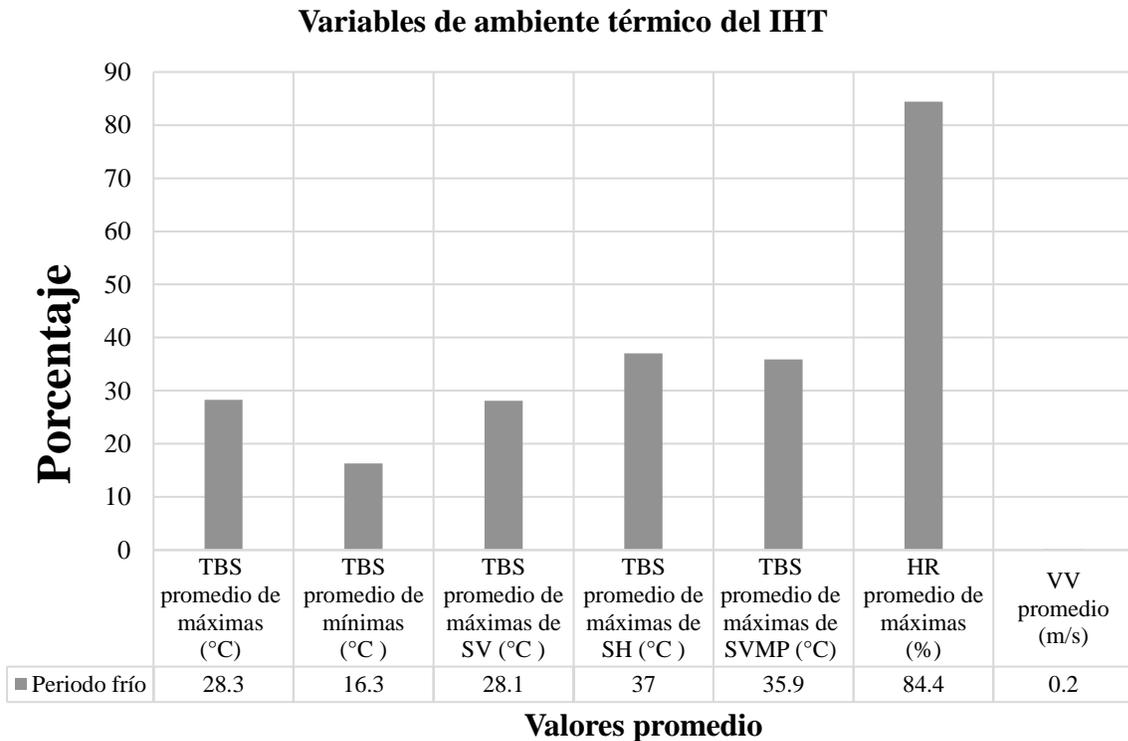
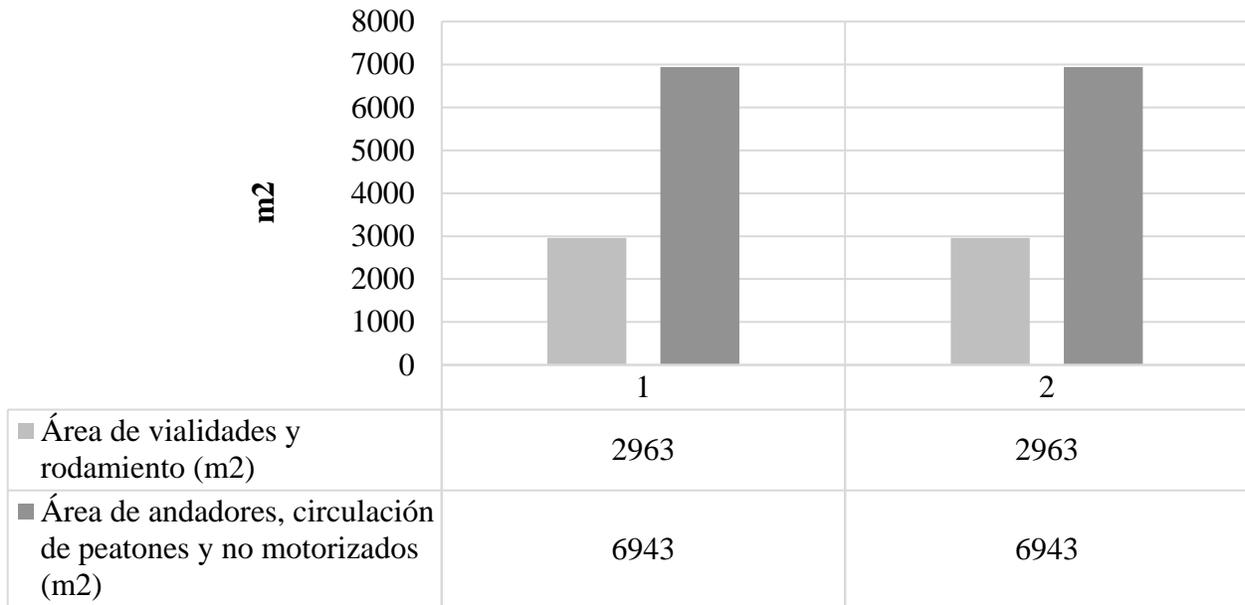


Figura 12. Datos de variables de habitante del IHT periodo frío. Fuente: Elaboración propia.



Variables de contexto urbano del IHT



1 y 2= Datos promedio periodo frío

Figura 13. Datos de variables de contexto urbano del IHT periodo frío. Fuente: Elaboración propia. A continuación, se muestra el valor promedio de la permeabilidad solar para el periodo frío, mediante el método de Fotogrametría [37]. Ver figura 14.

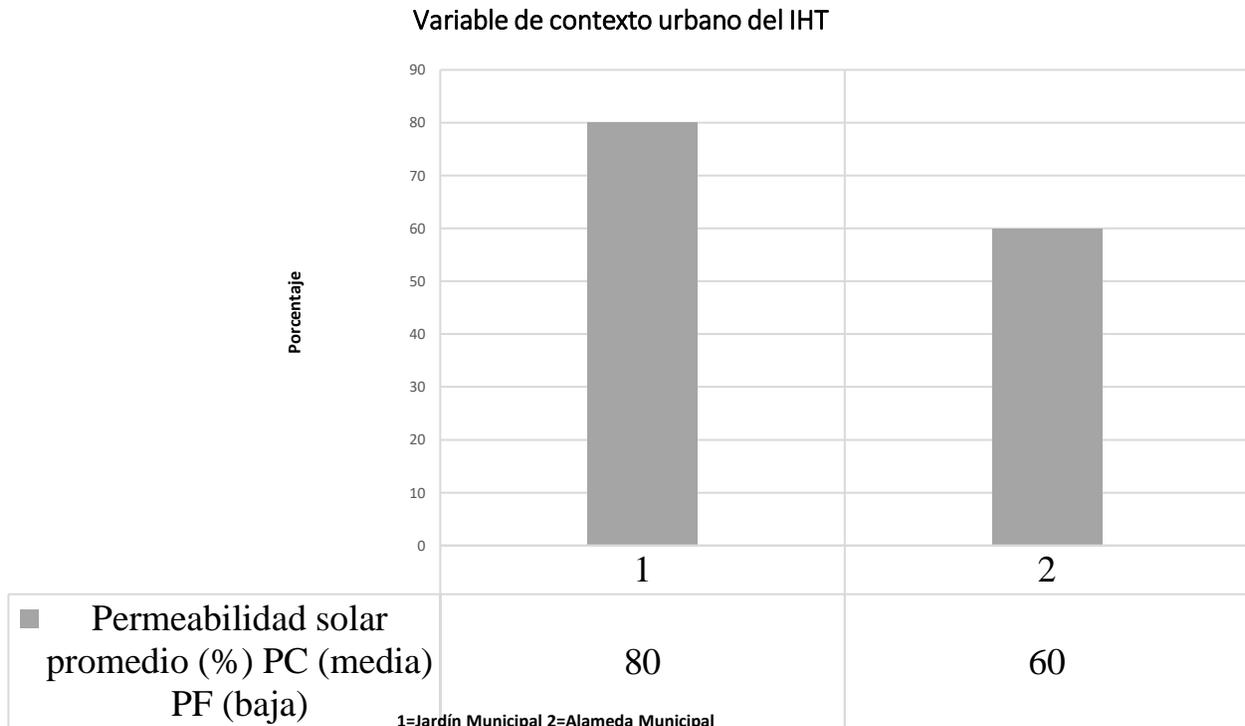


Figura 14. Datos de contexto urbano del IHT periodo frío. Fuente: Elaboración propia.



Para finalizar con las variables de contexto urbano que abonan al desarrollo del IHT, se muestran los valores promedio de albedo urbano

(AU) de áreas medidas y el calor antropogénico (CA) generado por vehículos estacionados circundantes a espacios públicos. Ver figura 15.

Variables de Contexto Urbano del IHT

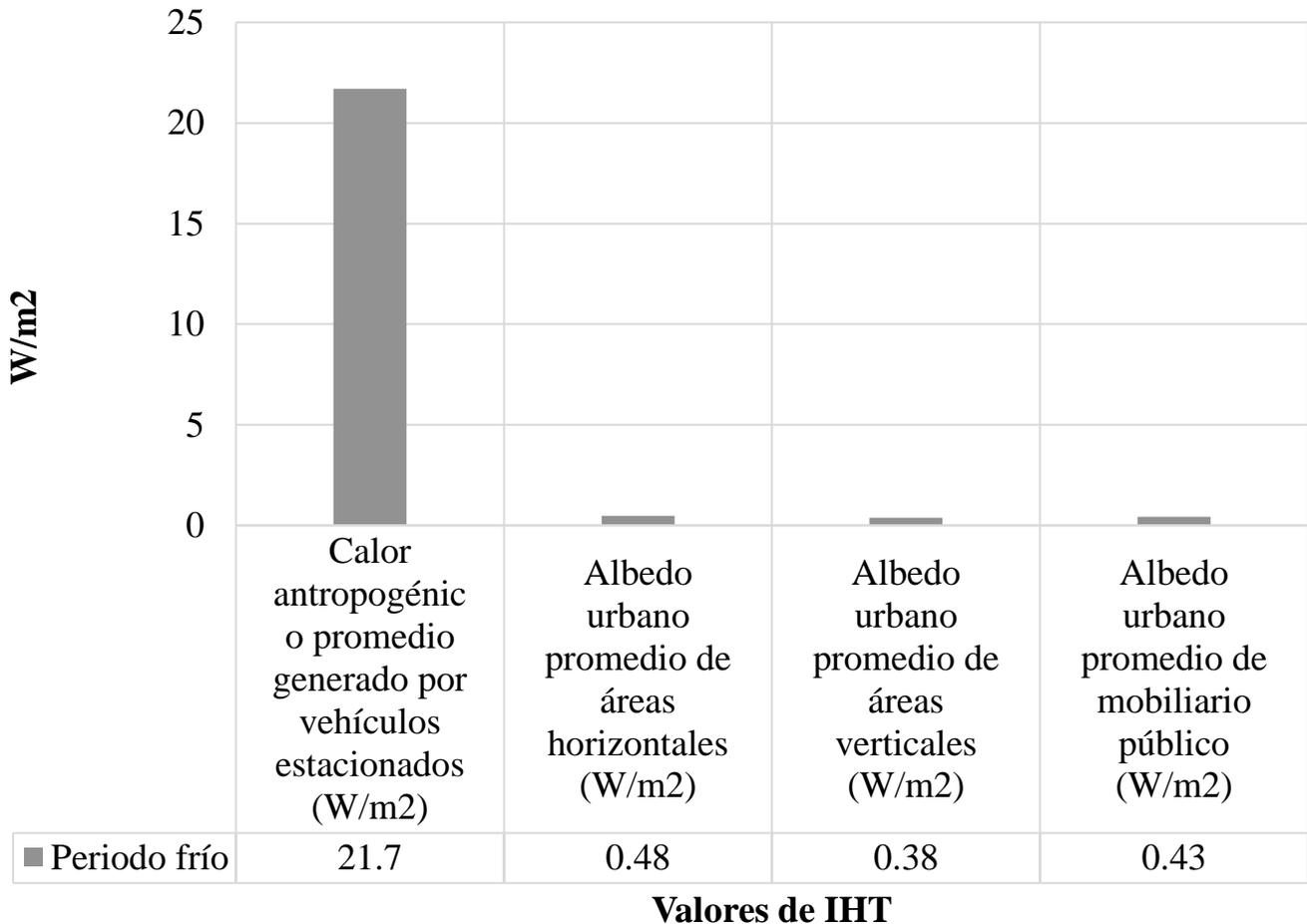


Figura 15. Datos de contexto urbano del IHT periodo frío. Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, durante el proceso de análisis de datos por las condiciones de la investigación, se determinó utilizar la regresión lineal múltiple entre las variables meteorológicas de TBS, HR y VV, y las ordinales de ST, PT, TT y AT. Una vez obtenida la regresión lineal múltiple, se procedió a asociar dichas variables con la correlación de Spearman, para saber el nivel de significatividad

entre cada una de ellas y obtener los datos del IHT.

A continuación, se presentan las tablas que marcan la prueba ANOVA y de coeficiente para determinar las diferencias entre las medias de las variables analizadas en el periodo frío. En lo que concierne a la correlación de Spearman, se presentó el grado de correlación lineal entre la ST



y variables de ambiente térmico, donde se muestra que solo la VV presentó nivel de asociación muy débil. Ver tabla 3.

Tabla 3. Correlación de Spearman entre variables de ambiente térmico y ST periodo frío.

			Temperatura de bulbo seco	Humedad relativa	Velocidad de viento	Sensación térmica del habitante
Rho de Spearman	Temperatura de bulbo seco	Coeficiente de correlación	1,000	-.610**	.086*	.502**
		Sig. (bilateral)	.	.000	.044	.000
		N	554	554	554	554
	Humedad relativa	Coeficiente de correlación	-.610**	1,000	-.122**	-.460**
		Sig. (bilateral)	.000	.	.004	.000
		N	554	554	554	554
	Velocidad de viento	Coeficiente de correlación	.086*	-.122**	1,000	.068
		Sig. (bilateral)	.044	.004	.	.108
		N	554	554	554	554
	Sensación térmica del habitante	Coeficiente de correlación	.502**	-.460**	.068	1,000
		Sig. (bilateral)	.000	.000	.108	.
		N	554	554	554	554

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: *Elaboración propia.*

Para la PT, se muestra que solo la variable de VV presentó una asociación en nivel muy débil, con

respecto a la TBS y HR, no existió ninguna asociación. Ver tabla 4.



Tabla 4. Correlación de Spearman entre variables de ambiente térmico y PT periodo frío.

			Temperatura de bulbo seco	Humedad relativa	Velocidad de viento	Preferencia térmica del habitante
Rho de Spearman	Temperatura de bulbo seco	Coeficiente de correlación	1,000	-.610**	.086*	-.392**
		Sig. (bilateral)	.	.000	.044	.000
		N	554	554	554	554
	Humedad relativa	Coeficiente de correlación	-.610**	1,000	-.122**	.416**
		Sig. (bilateral)	.000	.	.004	.000
		N	554	554	554	554
	Velocidad de viento	Coeficiente de correlación	.086*	-.122**	1,000	-.057
		Sig. (bilateral)	.044	.004	.	.179
		N	554	554	554	554
	Preferencia térmica del habitante	Coeficiente de correlación	-.392**	.416**	-.057	1,000
		Sig. (bilateral)	.000	.000	.179	.
		N	554	554	554	554

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: *Elaboración propia.*

Con relación a la TT, ésta presentó asociación con todas las variables meteorológicas en el nivel

de débil para la VV, muy débil la HR y nulo para la TBS. Ver tabla 5



Tabla 5. Correlación de Spearman entre variables de ambiente térmico y TT periodo frío.

			Temperatura de bulbo seco	Humedad relativa	Velocidad de viento	Tolerancia térmica del habitante
Rho de Spearman	Temperatura de bulbo seco	Coeficiente de correlación	1,000	-.610**	.086*	.090*
		Sig. (bilateral)	.	.000	.044	.035
		N	554	554	554	554
	Humedad relativa	Coeficiente de correlación	-.610**	1,000	-.122**	-.057
		Sig. (bilateral)	.000	.	.004	.181
		N	554	554	554	554
	Velocidad de viento	Coeficiente de correlación	.086*	-.122**	1,000	.037
		Sig. (bilateral)	.044	.004	.	.391
		N	554	554	554	554
	Tolerancia térmica del habitante	Coeficiente de correlación	.090*	-.057	.037	1,000
		Sig. (bilateral)	.035	.181	.391	.
		N	554	554	554	554

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: *Elaboración propia.*

Con respecto a la AT, se muestra el nivel de asociación con las variables meteorológicas, donde la VV tuvo el nivel de moderado, la HR

presentó nivel de débil y la TBS correspondió al nivel de muy débil. Ver tabla 6.



Tabla 6. Correlación de Spearman entre variables de ambiente térmico y AT periodo frío.

			Temperatura de bulbo seco	Humedad relativa	Velocidad de viento	Aceptación térmica del habitante
Rho de Spearman	Temperatura de bulbo seco	Coefficiente de correlación	1,000	-.610**	.086*	.105*
		Sig. (bilateral)	.	.000	.044	.014
		N	554	554	554	554
	Humedad relativa	Coefficiente de correlación	-.610**	1,000	-.122**	-.087*
		Sig. (bilateral)	.000	.	.004	.042
		N	554	554	554	554
	Velocidad de viento	Coefficiente de correlación	.086*	-.122**	1,000	.025
		Sig. (bilateral)	.044	.004	.	.562
		N	554	554	554	554
	Aceptación térmica del habitante	Coefficiente de correlación	.105*	-.087*	.025	1,000
		Sig. (bilateral)	.014	.042	.562	.
		N	554	554	554	554

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

La evaluación de datos para la construcción de un índice resulta ser necesaria, ya que permite apreciar el margen de error entre los datos teóricos obtenidos de fuentes especializadas y los registrados en campo, de esta manera la investigación posee mayor certeza y

confiabilidad en los resultados que se presentan y permite al interesado asegurar la utilidad del índice de espacios públicos exteriores en cualquier lugar de aplicación, sin importar las condiciones meteorológicas y de sitio que se tengan. Ahora bien, se muestra el desarrollo del

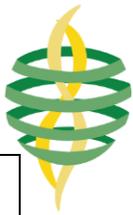


ejercicio de la evaluación de datos con la aplicación de los 25 indicadores que conforman

el Índice de Habitabilidad Térmica para espacios de convivencia públicos exteriores. Ver tabla 7.

Tabla 7. Validación de indicadores propuestos para el Índice de Habitabilidad Térmica periodo frío (IHT).

Categoría	Nombre del indicador	Datos teóricos	Datos obtenidos en campo
Ambiente térmico	Temperatura de bulbo seco promedio de máximas periodo frío.	28.0 °C	28.3 °C
	Temperatura de bulbo seco promedio de mínimas periodo frío.	19.0 °C	16.3 °C
	Temperatura de bulbo seco promedio de máximas de superficies verticales periodo frío.	Se sugiere el empleo de un psicrómetro digital para medir la radiación infrarroja de la superficie vertical representativa del espacio y/o el registro y cálculo de datos con el uso del programa Heliodón o método similar.	28.1 °C
	Temperatura de bulbo seco promedio de máximas de superficies horizontales periodo frío.	“	37.0 °C
	Temperatura de bulbo seco promedio de máximas de superficies verticales de mobiliario periodo frío.	“	35.9 °C
	Humedad relativa promedio periodo frío.	78.0 %	84.4 %
	Velocidad de viento promedio periodo frío.	2.6 m/s	0.20 m/s
	Radiación solar en el plano horizontal promedio periodo frío.	4.3 W/m ²	4.5 W/m ²
Habitante	Nivel de actividad metabólica.	Actividad en reposo: 58 a 87 W/m ²	58 a 87 W/m ²
	Temperatura neutral.	Se presenta un modelo de registro de este rubro en la cédula de información de acuerdo a normatividad vigente basado en las normales climatológicas, programa Meteororm o método similar. Fuente: (Norma ISO 10551).	24.5 °C
	Porcentaje de preferencia térmica periodo frío.	Se realiza un prototipo de cuestionario para Índice de Habitabilidad Térmica (IHT) basado en la norma ISO 10551:1995, que se pueda aplicar en cualquier lugar o método similar.	55.1% (sin cambio)
	Porcentaje de tolerancia térmica periodo frío.	“	69.9% (tolerable)
	Porcentaje de aceptación térmica periodo frío.	“	68.1 % (aceptable)
Contexto urbano	Área de vialidades y rodamiento.	Se sugiere el empleo de una cinta métrica, distanciómetro con láser y/o la	3044 m ²



	aplicación de Google Maps como método auxiliar o método similar.	
Área de andadores, circulación de peatones y vehículos no motorizados.	“	6835 m ²
Calor antropogénico promedio generado por vehículos estacionados periodo frío.	Cálculo en W/m ² con programa Heliodón con base en normatividad vigente en el sitio o método similar.	21.7 W/m ²
Albedo urbano promedio de áreas horizontales periodo frío.	“	24.4 W/m ²
Área promedio de edificación.	Se sugiere el empleo de una cinta métrica, distanciómetro con láser y/o la aplicación de Google Maps como método auxiliar o método similar.	44.4 m ²
Altura promedio de edificación.	“	4.7 m
Albedo urbano promedio de áreas verticales periodo frío.	Cálculo en W/m ² con programa Heliodón con base en normatividad vigente en el sitio o método similar.	20.9 W/m ²
Área promedio de copa de árboles.	Se sugiere el empleo de una cinta métrica, distanciómetro con láser y/o la aplicación de Google Maps como método auxiliar o método similar.	4.4 m ²
Área promedio de sombreado de árboles periodo frío.	“	7.6 m ²
Permeabilidad solar promedio periodo frío.	Se desarrolla un modelo de medición de permeabilidad solar con base en literatura y normatividad vigente en el sitio o método similar.	Baja
Albedo urbano promedio de mobiliario público periodo frío.	Cálculo en W/m ² con programa Heliodón con base en normatividad vigente en el sitio o método similar.	23.3 W/m ²
Áreas verticales promedio de mobiliario público.	Se sugiere el empleo de una cinta métrica, distanciómetro con láser y/o la aplicación de Google Maps como método auxiliar o método similar.	2.4 m ²

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía especializada.

En lo que respecta al análisis de datos de la investigación, se utilizó la regresión lineal múltiple con las variables meteorológicas en el periodo frío (temperatura de bulbo seco promedio de máximas, temperatura de bulbo seco promedio de mínimas, temperatura de bulbo seco promedio de máximas de superficies verticales, temperatura de bulbo seco promedio de máximas de superficies horizontales, temperatura de bulbo seco promedio de máximas de superficies verticales de mobiliario público, humedad relativa promedio de máximas,

velocidad de viento promedio y radiación solar en el plano horizontal promedio y las variables ordinales (porcentaje de sensación, preferencia, tolerancia y aceptación térmica).

Obtenidos estos resultados, se manejó el coeficiente de correlación de Spearman, son la expresión numérica que indica el grado de relación lineal existente entre variables cuantitativas o de intervalo y ordinales. En cuanto a la sensación térmica, se apreció que la escala (ni calor ni frío) tuvo el porcentaje mayor en este periodo, no obstante, la preferencia



térmica lo fue en la escala de (sin cambio). Los resultados de la tolerancia térmica manifestaron que la escala (tolerable), fue la elegida por los encuestados y sobre la aceptación térmica se apreció que la escala (aceptable), fue la frecuencia mayor de respuestas de los habitantes.

4. Conclusiones

La evaluación de datos para la construcción de un índice resulta ser fundamental, admite el margen de error que se pueda tener entre los registros de fuentes confiables (datos teóricos) y los obtenidos en mediciones de campo, asimismo, brinda la certeza, que quien utilice el índice le sea conveniente y de beneficio para la sociedad. La aplicación generalizada del método, queda de manifiesto en su inclusión como parte de las normativas relacionadas a la evaluación del ambiente térmico. Según valores obtenidos de la correlación de Spearman, las variables de ambiente térmico para el desarrollo del índice, resultaron ser las de influencia mayor y asociación lineal, por el efecto en la estimación del habitante y en su nivel de sensación (0.068 r^2), preferencia (0.057 r^2), tolerancia (0.037 r^2) y aceptación térmica (0.025 r^2) para el periodo frío, donde se tiene que r^2 significa coeficiente de determinación. De acuerdo a lo anterior, los resultados señalan que la sensación y preferencia térmica fueron de nivel moderado en el periodo frío, no obstante, la tolerancia y aceptación térmica tuvieron una proximidad en los resultados, donde los habitantes refirieron que toleran y aceptan más el calor que el frío. De acuerdo al análisis de datos con la correlación de Spearman, la variable de velocidad de viento (VV), tuvo asociación significativa bilateral mayor con todas las variables ordinales, asimismo, la temperatura de bulbo seco y humedad relativa tuvieron asociación significativa bilateral en la tolerancia y aceptación térmica en el periodo frío. Se sugiere que el estudio presentado se considere para

investigaciones futuras, donde las variables e indicadores utilizados permitan crear otro tipo de índice que promueva la satisfacción general de los habitantes en espacios exteriores, de igual manera, coadyuvar con los organismos municipales en mejorar las condiciones de confort y de habitabilidad de sus espacios públicos, además de contribuir con la integración social, el medio natural y contexto urbano.

Referencias

- [1] M. Rein, Territorio y configuración de la ciudad. El confort urbano en la ciudad y su evolución en los últimos años, 2013. <http://www.rvarquitectas.com/pdf/701-informe-agenda-21-1.pdf>
- [2] G. Taulé, «Distribución temporal y espacial de los extremos térmicos en la zona urbana de Girona,» Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, vol. Serie A, p. 8, 2012. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7336444>
- [3] M. Casals, J. Arcas y A. Cuchi, «Aproximación a una habitabilidad articulada desde la sostenibilidad: Raíces teóricas y caminos por andar,» Revista INVI, vol. 28, nº 77, pp. 193-226, 2013. <https://doi.org/10.4067/S0718-83582013000100007>
- [4] J. Borja y Z. Muxí, Urbanismo en el siglo XXI: una visión crítica: Bilbap, Madrid, Valencia, Barcelona, Cataluña: Univ. Politéc. de Cataluña, 2004. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=9788>
- [5] G. Bojórquez et al, «Índice de habitabilidad térmica para la vivienda,» de Coloquio Internacional de las Culturas del Desierto, 2017. <http://elibros.uacj.mx/omp/index.php/publicaciones/catalog/download/127/110/784-1?inline=1>
- [6] L. Gómez et al, «Determinación de la amplitud del rango de confort térmico preferente para las personas que habitan en clima tropical sub-húmedo,» Colima, México, 2006.
- [7] L. Zulaica, «Sustentabilidad social en el periurbano de la ciudad de Mar del Plata: análisis



- de su evolución a partir de la construcción y aplicación de un Índice de Habitabilidad,» Revista Geoaraguaia, vol. 3, nº 2, pp. 1-25, 2013. <http://hdl.handle.net/11336/1173>
- [8] C. Reyes, «Propuesta de una tipología para espacios abiertos en la ciudad de México,» Crisol fusión de ideas, vol. 2, nº 2, pp. 57-78, 2006. <http://www3.uacj.mx/IADA/Documents/REVISTA/CRISOL/revistas/Crisol%20%204.pdf>
- [9] M. Sosa et al, «Influencia de la morfología urbana sobre la habitabilidad térmica exterior en una ciudad de clima árido,» Revista Hábitat Sustentable, vol. 7, nº 1, pp. 44-53, 2017. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2616>
- [10] M. García y Y. Contreras, «Diseño metodológico para la habitabilidad urbana desde los espacios públicos de estancia,» pp. 2-25, 2016. <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/3251>
- [11] E. Pinzón, «Diagnóstico de extensión de las áreas verdes en Torreón, Coahuila,» Torreón, Coahuila, 2010. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7622>
- [12] R. Valladares, y M.E. Chavez, «Sustentabilidad y habitabilidad urbana,» Edicación Sustentable en Jalisco, 2009. <http://siga.jalisco.gob.mx/multi/EdificacionSustentable.pdf>
- [13] J. Aguillón et al, «Habitabilidad básica de la vivienda rural, índice de confort térmico,» Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2012. https://www.researchgate.net/publication/337680617_Habitabilidad_basica_de_la_Vivienda_Rural_indice_de_confort_termico
- [14] S. Moreno, «La habitabilidad urbana como condición de calidad de vida,» Palapa Revista de Investigación Científica en Arquitectura, vol. III, nº II, pp. 47-54, 2008. <http://revistasacademicas.ucol.mx/index.php/palapa/article/view/95>
- [15] Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, «Análisis de la habitabilidad urbana,» 2008. <http://www.bcnecologia.net/>
- [16] L. Zulaica, «Análisis territorial de las condiciones de habitabilidad en el periurbano de la ciudad de Mar del Plata, Argentina a partir de la construcción de un índice y de la aplicación de métodos de asociación espacial,» Revista de Geografía Norte Grande, vol. 41, pp. 129-146, 2008. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022008000300007>
- [17] S. Coccolo et al, «Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards,» Urban Climate, vol. 18, pp. 33-57, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.08.004>
- [18] M. Guzmán, y J. Ochoa de la Torre, «Confort térmico en los espacios públicos urbanos: Clima cálido y frío semi-seco,» Revista Hábitat Sustentable, vol. 4, nº 2, pp. 52-63, 2014. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/450>
- [19] C. Yang et al, «Study on the allowable fluctuation ranges of human metabolism rate and thermal environment parameters under the condition of thermal comfort,» Building and Environment, vol. 103, pp. 155-164, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.008>
- [20] S. Onomura et al, «Meteorological forcing data for urban outdoor thermal comfort models from a coupled convective boundary layer and surface energy balance scheme,» Urban climate, vol. 11, pp. 1-23, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.11.001>
- [21] P. Paramo y A. Burbano, «Valoración de las condiciones que hacen habitable el espacio público en Colombia,» Territorios, vol. 28, pp. 187-206, 2013. <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/territorios/article/view/2557>
- [22] M. Nikolopoulou et al, «Thermal comfort models for urban spaces. Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach, Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces, Key Action 4 City of tomorrow and Cultural Heritage from the programme Energy,» Bruxelles, 2004. <http://alpha.cres.gr/ruos>
- [23] C. Caballero, «Metodología genérica de Evaluación Ambiental Estratégica mediante el uso de Indicadores Ambientales y Análisis Multicriterio con aplicación al Plan Director Sectorial Energético de las Islas Baleares,» Barcelona, España, 2007. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=259513>



- [24]C. D'alencón et al, «Parámetros y estándares de habitabilidad: calidad en la vivienda, el entorno inmediato y el conjunto habitacional,» Santiago de Chile, 2010. <https://politicaspUBLICAS.uc.cl/wp-content/uploads/2015/02/parametros-y-estandares-de-habitabilidad.pdf>
- [25]L. Ramírez, «Habitar humano: Interacciones entre formas de habitar y condiciones de habitabilidad,» Medellín, Colombia, 2014. <http://bdigital.unal.edu.co/41942/>
- [26]R. De Camino, «Esquema para la definición de indicadores,» Agroecología y Desarrollo, vol. 10, pp. 62-67, 1996.
- [27]C. Sabino, «El proceso de investigación,» Humanitas, pp. 1-8, 1996. http://paginas.ufm.edu/sabino/ingles/book/proceso_investigacion.pdf
- [28]Mondragón, «¿Qué son los indicadores?,» Revista de información y análisis, vol. 19, pp. 52-58, 2002. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/notas/notas19.pdf
- [29]R. Brown y T. Gillespie, «Microclimatic landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency,» New York: Wiley, 1995. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199702\)17:2<225::AID-JOC102>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199702)17:2<225::AID-JOC102>3.0.CO;2-4)
- [30]DE, U.G., «Plan de Desarrollo Municipal,» El Grullo, Jalisco, 2015. <https://seplan.app.jalisco.gob.mx/biblioteca/archivo/descargarArchivo/1928>
- [31]International Organization for Standardization (ISO 10551:1995), «Ergonomics of thermal environment assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales,» Ginebra, Suiza, 2002. <https://www.iso.org/standard/18636.html>
- [32]International Organization for Standardization (ISO 7933:2004), «Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of heat stress sing calculation of the predicted heat strain,» Ginebra, Suiza, 2004. <https://www.iso.org/standard/37600.html>
- [33]Organización Meteorológica Mundial (OMM), «Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos. Tiempo-Clima-Agua,» Ginebra, Suiza, 2014. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10032
- [34]M. Nardo et al, «Tools for composite indicators Building,» European Commission, Ispra, vol. 15, pp. 19-20, 2005. <https://doi.org/10.1080/10463356.2005.11883268>
- [35]H. Soto y A. Schuschny, «Guía metodológica: diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible,» 2009. <https://www.bivica.org/file/view/id/2485>
- [36]Duarte, «Contaminación difusa originada por la actividad agrícola de riego, a la escala de la cuenca hidrográfica,» 2013. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=69441>
- [37]J. Santamaría y T. Sanz, «Fundamentos de Fotogrametría,» Publicación Universidad de la Rioja-España, 2011. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=492591>



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)



Dinámica de la densidad de probabilidad en la región interna de un potencial doble delta de Dirac

Dynamics of the probability density in the internal region of a double for a Dirac delta potential

Hernández Maldonado Alberto 

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México.

Autor de correspondencia: Dr. Alberto Hernández Maldonado, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México. E-mail: hernandez.alberto@uabc.edu.mx ORCID: 0000-0002-9768-4060.

Recibido: 04 de Septiembre del 2020 **Aceptado:** 25 de Septiembre del 2020 **Publicado:** 30 de Septiembre del 2020

Resumen. - Con base en soluciones analíticas exactas de la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo, y condiciones iniciales de ondas planas cortadas en el espacio x mediante un obturador cuántico absorbente o reflejante, se analiza el comportamiento dinámico de la densidad de probabilidad electrónica o buildup, en la región interna de un potencial doble delta de Dirac, desde tiempos (dados en vidas medias) muy pequeños, hasta alcanzar la situación estacionaria. Se compara el buildup entre ambos casos, absorbente y reflejante, encontrando que para tiempos cortos el buildup depende de la condición inicial (CI) utilizada, mientras que, para tiempos grandes, es independiente de dicha CI. Usando la CI reflejante, se analiza el buildup desde un tiempo prácticamente cero, hasta que se alcanza la situación estacionaria. Los resultados encontrados pueden ser relevantes en el contexto de la respuesta rápida en los dispositivos conocidos como diodos de tunelaje resonante.

Palabras clave: Transitorios cuánticos; Potencial doble delta; Obturador de Moshinsky.

Abstract. - Based on exact analytical solutions of the time-dependent Schrödinger equation, and initial conditions of plane waves cut in x -space by an absorbing or reflecting quantum shutter, the dynamic behavior of the electronic probability density or buildup is analyzed, in the internal region of a double Dirac delta potential double, from very short times (given in half-lives), until reaching the stationary situation. The buildup is compared between both cases, absorbent and reflective quantum shutter, finding that for short times the buildup depends on the initial condition (IC) used, while for long times, it is independent of said IC. Using the reflecting IC, the buildup is analyzed from practically zero time, until the steady state is reached. The results found may be relevant in the context of rapid response in devices known as resonant tunneling diodes.

Keywords: Quantum transients; Double delta potential; Moshinsky shutter.

1. Introducción

Un modelo útil para estudiar los fenómenos transitorios en la mecánica cuántica, ha sido el llamado *obturador de Moshinsky* [1]. Este modelo se basa en la solución de la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo en una dimensión, con la condición inicial de una onda plana confinada a la región $x < 0$, mediante un obturador cuántico situado en la posición $x = 0$. Si al tiempo $t = 0$ se remueve instantáneamente el obturador, el comportamiento de la densidad de probabilidad para $t > 0$ es análogo al obtenido en la difracción de Fresnel de la luz por un semiplano [2], motivo por el cual Moshinsky llamó a dicho fenómeno *difracción en el tiempo*. Dicho modelo ha resultado ser una herramienta útil para estudiar fenómenos físicos reales en otros contextos, entre los que podemos mencionar por ejemplo la *difracción de neutrones* [3-5], entre muchos otros fenómenos que involucran efectos transitorios [6, 7]. La verificación experimental de la difracción en el tiempo [8, 9] ha motivado estudios de fenómenos de *interferencia cuántica*, [10], así como la extensión de la condición inicial del obturador de Moshinsky [11]. Un avance crucial para la exploración de los fenómenos transitorios en estructuras cuánticas unidimensionales, ha sido la extensión del modelo de obturador a situaciones que involucran potenciales. Dicha extensión fue realizada por García-Calderón y Rubio [12] y es válida para potenciales arbitrarios de alcance finito. Este formalismo, así como algunas extensiones del mismo, han permitido estudiar mediante un enfoque

puramente dinámico, la evolución temporal de la densidad de probabilidad en diferentes sistemas cuánticos, así como el estudio del tunelaje cuántico en diversos sistemas que involucran regiones clásicamente prohibidas y pozos de potencial [12-17].

En el presente trabajo, se utiliza el formalismo de estados resonantes desarrollado por García-Calderón y Rubio [12], en el cual se utiliza la condición inicial de obturador absorbente y su extensión con la condición inicial de obturador reflejante [15], para analizar el comportamiento dinámico de la densidad de probabilidad en la región interna de un potencial doble delta de Dirac, desde tiempos muy cortos, hasta alcanzar la situación estacionaria. Se demostrará la ventaja de usar un obturador reflejante en lugar de un absorbente, para estudiar la dinámica de la densidad de probabilidad a tiempos muy cortos, lo cual implica el nacimiento de la densidad de probabilidad o *buildup*. Cabe decir que la física del sistema doble delta es, en buena medida, extensiva a sistemas con perfiles de potencial más complicados.

2. Formalismo

En la figura 1, se muestra en forma esquemática, un obturador de onda plana, confinada a la región $x < 0$, un potencial doble delta de Dirac y un detector. El obturador es removido en forma instantánea en $t = 0$, permitiendo la interacción de la onda con el potencial doble delta, a $t > 0$.

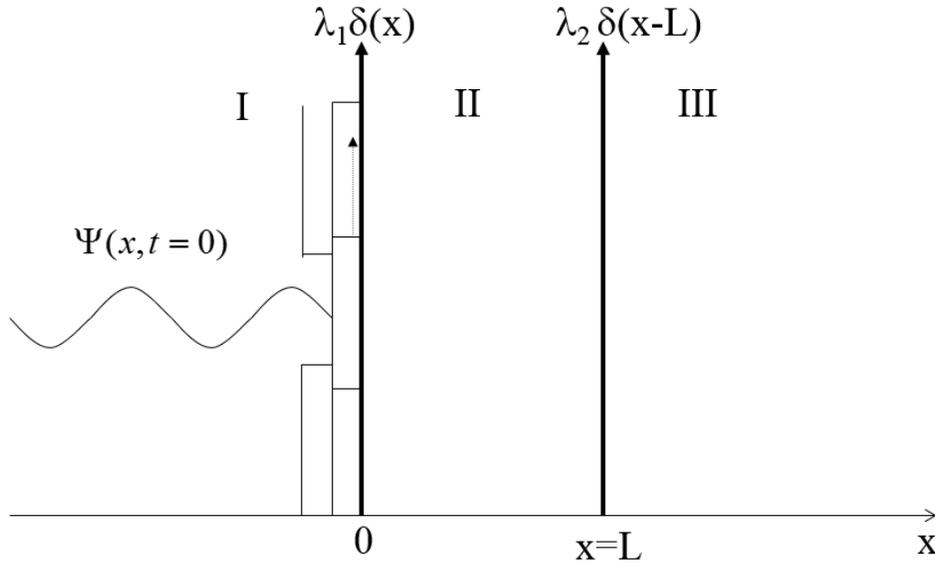


Figura 1. Obturador de onda plana y un potencial doble delta de Dirac.

El objetivo del presente trabajo, es explorar el comportamiento de la densidad de probabilidad en la región interna (*buildup*) en un sistema doble delta, en el régimen de tiempos cortos, hasta alcanzar la situación estacionaria. Los cálculos se realizan con las soluciones de obturador de onda plana, tanto absorbente como reflejante, con el fin de hacer una comparación sistemática de ambas soluciones.

Las soluciones en la región $0 \leq x \leq L$ (ver figura 1) de la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo, para un potencial arbitrario, con la condición inicial de obturador de onda plana absorbente ($\psi(x, t = 0) = e^{ikx}$) y reflejante ($\psi(x, t = 0) = e^{ikx} - e^{-ikx}$), están dadas respectivamente por [8, 9],

$$\psi_r(x, k, t) = \psi(x, k)M(0, k, t) - \psi^*(x, k)M(0, -k, t) -$$

$$2ik \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{u_n(0)u_n(x)}{k^2 - k_n^2} M(0, k_n, t) + \frac{u_n^*(0)u_n^*(x)}{k^2 + k_n^2} M(0, k_n^*, t) \right], \quad (1)$$

y

$$\psi_a(x, k, t) = \psi(x, k)M(0, k, t) - i \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{u_n(0)u_n(x)}{k - k_n} M(0, k_n, t) + \frac{u_n^*(0)u_n^*(x)}{k + k_n} M(0, k_n^*, t) \right] \quad (2)$$

donde $\psi(x, k)$ es la función de onda estacionaria (ver Ec. 161 de la referencia 18), las funciones $u_n(0)u_n(x)$ están dados por las eigenfunciones resonantes $u_n(x)$ del sistema, las k 's son los

polos del tercer y cuarto cuadrante [18]. El índice n corre sobre los polos complejos k_n distribuidos en el tercer y cuarto cuadrante del plano complejo k .

Las funciones M 's son funciones de Moshinsky, la cual está dada por,

$$M(x, q, t) = \frac{1}{2} e^{i(qx - \hbar q^2 t / 2m)} \operatorname{erfc} \left[\frac{x - \hbar q t / m}{\sqrt{2i\hbar t / m}} \right] \quad (3)$$

donde, q puede tomar los valores de k , $-k$, k_n y k_n^* .

A partir de las Ecs. (1) y (2), es posible describir los fenómenos transitorios que resultan de dichas soluciones, las cuales son válidas para un potencial arbitrario que soporte resonancias, y en este caso, la aplicamos al caso del potencial doble delta de Dirac. Las soluciones antes mencionadas involucran los polos complejos, $E_n = \epsilon_n - i\Gamma_n/2$ y los estados resonantes del sistema, donde ϵ_n y Γ_n son la resonancia y ancho de resonancia del sistema respectivamente.

3.1 Resultados y Discusiones

3.1.1. Dinámica de las densidades de probabilidad para los casos de obturador cuántico absorbente y reflejante.

A continuación, se muestran resultados del comportamiento de la densidad de probabilidad a diferentes tiempos (*buildup*), utilizando la aproximación 200 términos en la sumatoria de la solución, para los casos reflejante y absorbente. Los parámetros utilizados en todos nuestros cálculos a lo largo de este trabajo son: intensidad de las deltas $\lambda_1 = \lambda_2 = 11.5 \text{ eV} - \text{Å}$, separación $L = 50 \text{ Å}$, energía de incidencia igual a la parte real del primer polo o resonancia $E = \epsilon_1 =$

0.1597366 eV . En la figura 2 (a) se muestra el *buildup* para el sistema doble delta. A tiempos relativamente grandes (4τ), el *buildup* tiene el mismo comportamiento que el que se obtiene usando solo un término (no mostrada aquí). Podemos decir que, para tiempos relativamente grandes, la aproximación de un término es suficiente para describir la densidad de probabilidad, tanto para el caso absorbente, como el reflejante. Mientras que para un tiempo menor que $t = 0.5\tau$, el comportamiento de la densidad de probabilidad o *buildup*, para el caso absorbente y reflejante es distinto (ver figura 2 (b)).

Esto es más notorio a distancias y tiempos cortos. Podemos ver que para el caso absorbente de la figura 2 (b), se empieza a formar un pequeño pico, el cual se va haciendo más pronunciado conforme disminuimos el tiempo, como se muestra en las figuras 2 (c-f). Mientras que, para el caso reflejante, representado por la línea punteada, se puede ver que la densidad de probabilidad decrece conforme el tiempo disminuye, hasta ser prácticamente cero, como lo muestra la figura 2 (f); lo cual muestra que, para poder apreciar la densidad de probabilidad desde su nacimiento, es necesario utilizar la condición inicial reflejante, además de considerar más de un término. Esto se puede ver en la figura 2 (f).

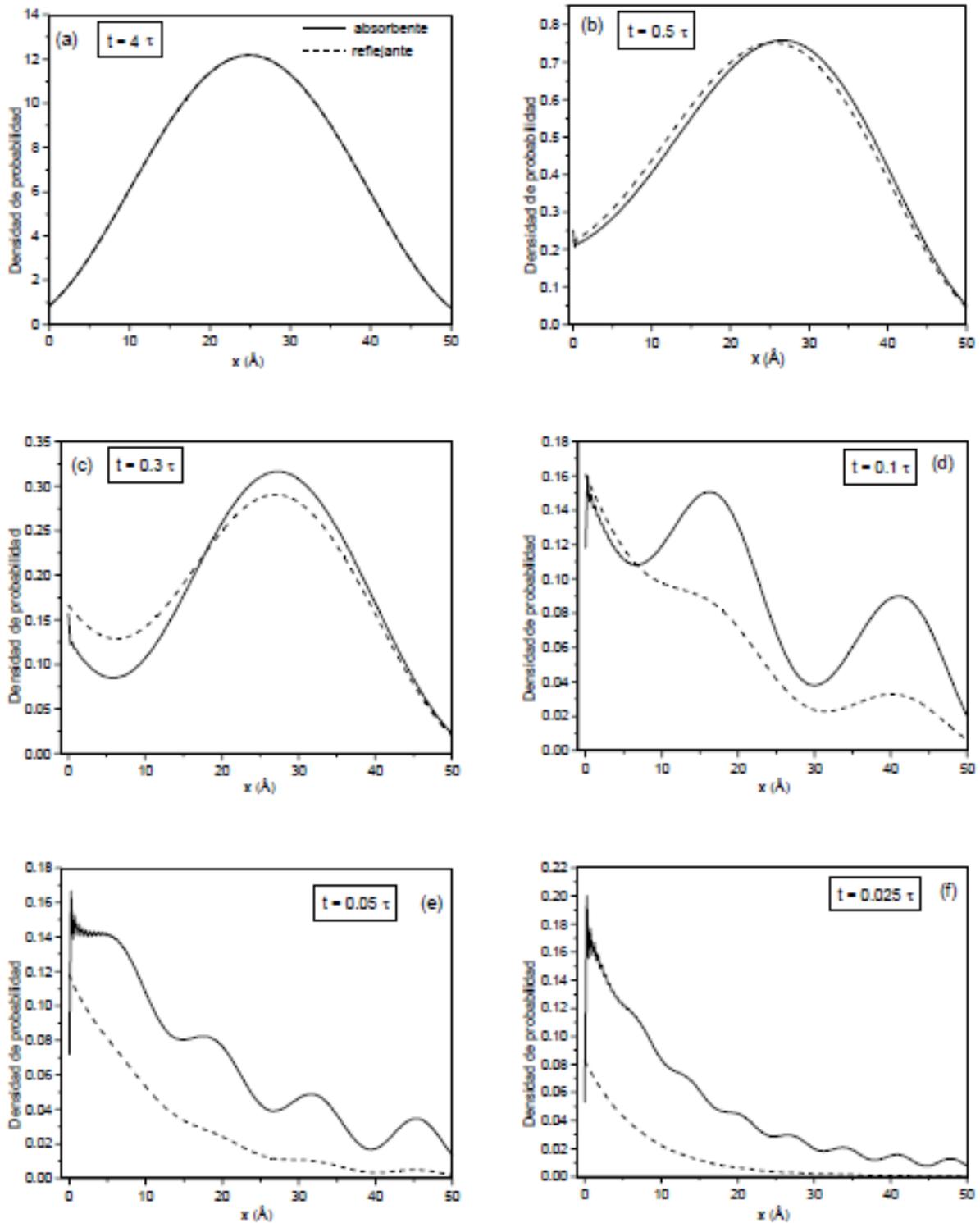


Figura 2. Densidad de probabilidad o *biuldup*, a diferentes tiempos y condiciones iniciales. Condición inicial absorbente (línea continua) y reflejante (línea punteada). Se usaron 200 términos. $\tau = 0.0258667$ ps corresponde al tiempo de vida. Ver parámetros restantes en el texto.

3.1.2. Dinámica de la densidad de probabilidad con la condición inicial de obturador reflejante

A continuación se muestra el comportamiento dinámico de la densidad de probabilidad respecto a la posición, a diferentes tiempos, en la región interna de un potencial doble delta de Dirac, utilizando la condición inicial reflejante, usando 250 polos en la solución de la Ec. (2), y

diferencia del trabajo de la referencia [12] quienes usan una condición inicial absorbente, y en el cual, no es posible analizar el buildup para tiempos arbitrariamente cortos, solo a partir de, aproximadamente 1.7τ , nosotros consideramos tiempos que van desde una cuantas decimas de vidas medias τ , hasta la situación estacionaria, específicamente, un intervalo de tiempos desde 0.0001τ hasta la situación estacionaria.

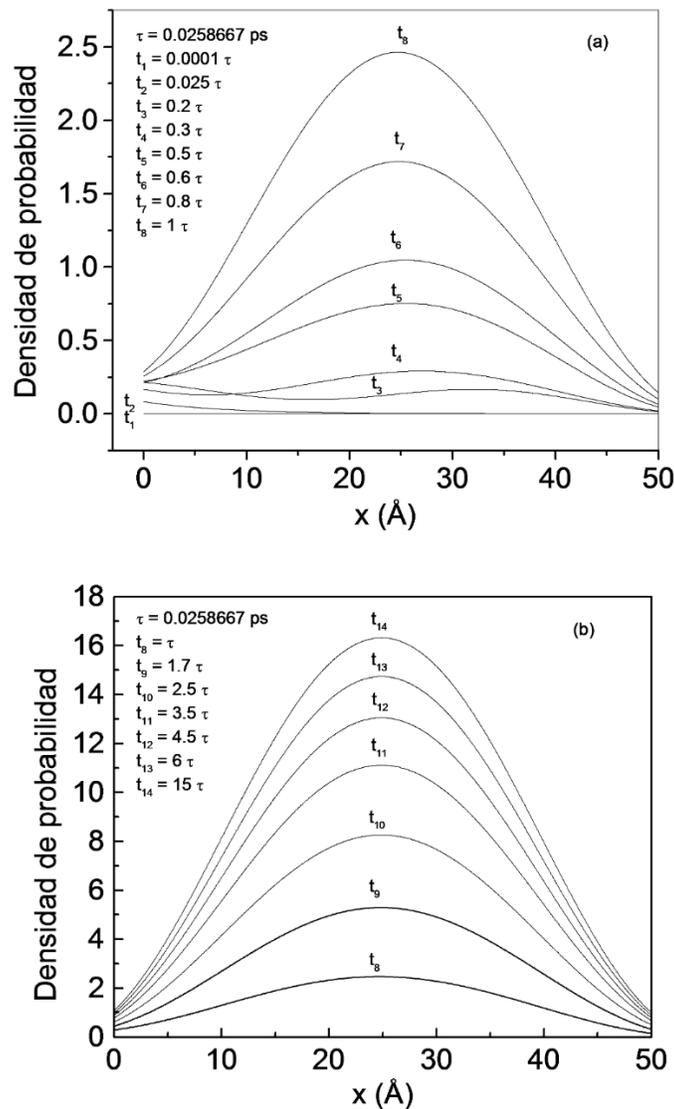


Figura 3. Densidad de probabilidad o *buildup* a diferentes tiempos, usando la condición inicial de obturador reflejante. Se usaron 250 términos en la solución. Los parámetros utilizados son los mismos que los de la figura 2.

En la figura 3 (a) se muestra la densidad de probabilidad en la región interna de un sistema doble delta simétrico, para tiempos cortos (fracciones de τ) que se indican en la figura. Podemos ver que para $t_1 = 0.0001\tau$, la densidad de probabilidad es prácticamente cero, y empieza a crecer conforme el tiempo se incrementa, hasta que finalmente, en $t_8 = \tau$ la densidad de probabilidad es casi simétrica y, podemos decir que su comportamiento es muy similar al caso estacionario, sin embargo, dicho tiempo está todavía muy alejado de la situación estacionaria. La figura 3 (b) es para tiempos de τ en adelante. La situación estacionaria se alcanza aproximadamente en 15τ . Utilizando la condición inicial de obturador de onda plana absorbente, no es posible reproducir la figura 3 (a).

A tiempos grandes (para nuestro ejemplo $t \approx \tau$) el comportamiento de la densidad de probabilidad es independiente de la condición inicial utilizada.

4. Conclusiones

Al comparar el comportamiento de la dinámica de la densidad de probabilidad o buildup, utilizando la condición inicial de obturador absorbente y reflejante, encontramos que a tiempos relativamente grandes, dicho comportamiento no depende de la condición inicial utilizada, sin embargo, a tiempos cortos, el comportamiento del buildup defiere drásticamente, dependiendo de la condición inicial utilizada, siendo incluso imposible observar la formación del buildup desde su nacimiento al usar la condición inicial absorbente. Mientras que, con la condición inicial reflejante, es posible observar el buildup desde su nacimiento hasta la situación estacionaria. Estos resultados demuestran que el efecto de la condición inicial en el comportamiento de la densidad de probabilidad

es relevante a tiempos cortos, y pueden ser útiles en los estudios de dinámica cuántica. También se debe tener cuidado de no atribuir a fenómenos físicos reales, efectos que son en realidad debidos a la condición inicial utilizada [11]. Un estudio más amplio del presente trabajo se puede ver en la referencia 19.

Referencias

- [1] M. Moshinsky, "Diffraction in time". Phys. Rev. Vol. 88, No. 1, 1952. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.88.625>.
- [2] Born, M. E. Wolf. "Principles of optics," Pergamon Press, Inc. Sixty edition. New York, 1959, pp. 808. <https://www.iaa.csic.es/~dani/ebooks/Optics/Principles%20of%20Optics%20-%20M.Born,%20E.%20Wolf.pdf>
- [3] A. S. Gerasimov y M. V. Kazarnovskii, "Possibility of observing nontationary quantum-mechanical effects by means of ultracold neutron," Sov. Phys. JETP, Vol. 44, pp. 892-987, 1976 http://jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/e_044_05_0892.pdf.
- [4] R. Gähler, A. G. Klein y A. Zeilinger, "Neutron optical tests of nonlinear wave mechanics", Phys. Rev. A, Vol. 23, pp. 1611-1617, 1981. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.23.1611>.
- [5] J. Felber, R. Gähler, C. Raush y R. Golub, "Matter waves at a vibrating surface: Transition from quantum-mechanical to classical behavior", Phys. Rev. A, Vol. 53, pp. 319-328, 1996. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.53.319>.
- [6] A. del Campo, G. García-Calderón y J.G. Muga, "Quantum transients" Phys. Rep. vol. 476, pp. 1-50, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2009.03.002>.
- [7] J. Villavicencio, R. Romo y A. Hernández-Maldonado, "Absorption dynamics and delay time in complex potentials", Phys. Scr. Vol. 93, no. 055201, 2018. <https://orcid.org/0000-0002-2523-6584>.

- [8] P. Szriftgiser, D. Guërey-Odelin, M. Arndt, y J. Dablibard, “Atomic wave diffraction and interference using temporal slits”, Phys. Rev. Lett., vol. 77, no. 1, pp. 4-7, 1996. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.77.4>.
- [9] T. Hils, J. Felber, R. Gähler, W. Gläaser, R. Golub, K. Habicht, y P. Wille. “Matter-wave optics in the time domain: Results of a cold-neutron experiment”. Phys. Rev. A, Vol. 58, pp. 4784-4790, 1998. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.58.4784>.
- [10] G. García-Calderón y A. Hernández-Maldonado, “Delay time as a quantum transient interference effect”, Physical Review A, Vol. 86, no. 062118, 2012. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.86.062118>.
- [11] A. Hernández, “Delay time in a single barrier for a movable quantum shutter” Phys. Rev. A, Vol. 81, No. 054101, 2010. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.81.054101>.
- [12] G. García-Calderón y A. Rubio. “Transient effects and delay time in the dynamics of resonant tunneling”. Phys Rev. A, Vol. 56, pp. 3361-3370, 1997. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.55.3361>.
- [13] J. Villavicencio y R. Romo., “Dynamical analysis of the buildup process near resonance”, Appl. Phys. Lett., Vol. 77, no. 3, pp. 379-381, 2000. <https://doi.org/10.1063/1.126982>.
- [14] J. Villavicencio y A. Hernández-Maldonado, “Transient quantum beats, Rabi oscillations, and delay time of modulated matter waves”, Phys Rev. A, Vol. 101, no. 042109, 2020. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.101.042109>.
- [15] R. Romo y J. Villavicencio. “Dynamical description of the buildup process in resonant tunneling: evidence of exponential and nonexponential contributions”. Phys. Rev. B Vol. 60: R2142-R2145, 1999. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.60.R2142>.
- [16] R. Romo y J. Villavicencio. “Role of the buildup oscillations on the speed of resonant tunneling diodes”. Appl. Phys. Lett. Vol. 78, pp. 1769-1771, 2001. <https://doi.org/10.1063/1.1354164>.
- [17] R. Romo, J. Villavicencio y G. García-Calderón. “Transient tunneling effects of resonance doublets in triple barrier systems”. Phys. Rev. B, Vol. 66, no. 033108, 2002. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.66.033108>.
- [18] A. Hernández Maldonado, “Estudio dinámico del retraso temporal en sistemas cuánticos”, Tesis. (CICESE), pp. 119, 2004.
- [19] A. Hernández Maldonado, R. Romo y J. Villavicencio, “Convergence of resonance expansions in quantum wave buildup”, Revista Mexicana de Física, Vol. 62, pp 257–266, 2016. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0035-001X2016000300257.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)