

TYPES OF ORCHESTRATIONS IN A CASE STUDY OF A STATISTICS CONSTRUCTIONIST TEACHING PRACTICE

TIPOS DE ORQUESTACIÓN EN UN ESTUDIO DE CASO DE UNA ENSEÑANZA CONSTRUCCIONISTA DE LA ESTADÍSTICA

Perla Marysol Ruiz-Arias
Cinvestav, Mexico
pmruiz@cinvestav.mx

Ana Isabel Sacristán
Cinvestav, Mexico
asacrist@cinvestav.mx

This paper presents a case study that is part of a research studying how university statistics teachers integrate digital tools in their practice. The case study is of a teacher who claims to follow constructionist ideas for her teaching of statistics, using the R programming language. The teacher developed a series of activities with R, aiming to promote the understanding of statistical concepts. We observed 11 of her classes, in a three-week period. These classes were analyzed using as framework the notion of Instrumental Orchestration and Papert's constructionist principles. We identified four ways in which this teacher orchestrates her class and the constructionist elements present in them.

Keywords: University Mathematics, Data Analysis and Statistics, Technology, Programming and Coding

Introduction

For the study, at university level, of statistics and its advanced models, the use of digital technologies (DT) is necessary, due to the high computing and graphing requirements of the discipline. Additionally, mathematics education researchers point out that digital technologies can be used to rethink the teaching and learning of statistics concepts, by supporting students' statistical reasoning (Biehler et al., 2013) and facilitating access to the fundamental ideas of the discipline (Burrill, 2014).

In contrast, the results of a 2017 survey (Ruiz & Sacristán, 2019) of Mexican university statistics teachers showed that, although they use different digital resources in their teaching practice, most tend to limit their use to computation, graphing and visualization in practical sessions and/or in tasks, without changing their teaching, nor achieving what they themselves believe can be achieved using DT.

However, in the survey data, the responses of a particular teacher caught our attention: this teacher uses the R¹ programming language to engage her students in expressive exploratory activities to confront their intuitions regarding statistical concepts and practice. This teacher pointed out that she changed her use of technology in her classes after she became familiar with the constructionism paradigm (Papert, 1991), which we describe below. Thus, unlike most of the other participants in the survey (Ruiz & Sacristán, 2019), this teacher does not restrict the use of DT to perform calculations and draw graphs to solve tasks; rather, her aim is to promote conceptual learning in her students, through R-based programming. That is why we decided to conduct a case study of her practice, in order to identify how she integrates R, designs and implements activities using this language, in order to promote a conceptual learning of statistical ideas, and identify which of constructionist ideas are present in her practice.

For the case study, we used as a theoretical framework, the notion of Instrumental Orchestration (Guin & Trouche, 2002), derived from Rabardel's (1995) Instrumental Approach. In this regard,

¹ <https://www.r-project.org/>

Drijvers et al. (2009) note that the different forms of orchestration of teachers are related to their views of mathematics learning and teaching. Through the case study presented in this paper, we aim to identify the relationship between the studied teacher's view and her forms of orchestration, in particular, the research question were: What types of orchestrations can we observe in this teacher's practice? And what are the constructionist elements in those orchestrations?

Conceptual and theoretical framework

The constructionism proposal

The constructionist paradigm proposed by Papert (1991), follows the premise from constructivism that learning involves the construction of knowledge structures. Constructionism adds to that premise the idea that learning is facilitated when an individual consciously engages in the creation of a public entity – that is, of an object or product that can be shared with others (Papert, 1991). Thus, constructionism emphasizes the active role of the individual in the construction of their knowledge.

Sacristán et al. (2020) identified a long list of the principles and ideas that are part of constructionism. From their perspective, these are organized around four themes: (1) Epistemology, and conceptions of mathematical knowledge and of mathematics; (2) Conception of learning and of the role of the student; (3) Pedagogy and design; and (4) Computer programming and microworlds.

From a constructionist perspective, the use of DT artifacts in the classroom requires a rethinking of the teaching practices: emphasis is placed on inquiry and on the learner, instead of on a specific curriculum or on facts to be learned. For this reason, the use of the computer is conceived as an object-to-think-with (Martinez & Stager, 2013): Papert (1980b) believes that computers can provide environments to develop and work, especially through programming with powerful ideas and/or intellectual skills, that respond to one's own interests and needs. He also considers that the challenges that arise when programming can be learning opportunities.

Statistics education researchers (e.g., Chance et al., 2007) agree that the use of DT artifacts in teaching must be accompanied by changes in teaching style; they further point out that the teacher plays an important role in leveraging DTs to achieve such rethinking.

Instrumental Orquestration

The notion of Instrumental Orchestration was proposed by Guin and Trouche (2002) to take into account how a teacher directs and conducts his classes. It refers both to the different ways in which a teacher organizes and uses available artifacts, whether technological or not, and the teacher's performance during class seeking an effective use of those artifacts.

Drijvers et al., (2009) define instrumental orchestration as “the teacher’s intentional and systematic organisation and use of the various artefacts available in a [...] learning environment in a given mathematical task situation” (p. 482). It is composed of three elements: (i) the *didactical configuration* consisting of the arrangement of the artifacts, whether technological or not, and the learning setting; (ii) the *exploitation mode* which refers to the ways the teacher decides to carry out a given task, in order to exploit the proposed configuration; and (iii) the *didactical performance*, which involves the teacher’s decisions and interventions taken while teaching in the chosen didactic configuration and exploitation mode (Drijvers et al., 2009).

The first form of instrumental orchestration mentioned in the literature (by Guin & Trouche, 2002) is the so-called *sherpa-student* orchestration, in which students carry out a task with an artifact (a calculator), while the work of one of them is projected and the teacher guides the actions of that student. In this orchestration, the didactical configuration is an arrangement that allows students to observe the projection while working on their own calculator, following the actions of the sherpa student. This mode of exploitation is determined by the teacher when guiding the sherpa student in his/her actions.

Trouche (2004) also distinguishes the *sherpa-at-work* orchestration, which has the didactical configuration described above and where the sherpa student is used to guide the work of the class in the exploitation mode. Other types of orchestrations identified by Drijvers et al. (2009) are: *technical-demo*, *explain-the-screen*, *link-screen-board*, *discuss-the-screen*, *spot-and-show*. In the exploitation modes of the first three orchestrations, the teacher has a central role; while the other orchestrations promote student intervention. On her part, Tabach (2011, 2013) distinguishes other types of orchestration: *monitor-and-guide*, *not-use-tech* and *discuss-tech-without-it*. In the *monitor-and-guide* orchestration, the teacher uses a learning management system to guide students to perform tasks similar to those of the *demo-technical* and *explain-the-screen* orchestrations. In the *not-use-tech* orchestration, technology is available but the teacher decides not to use it. The last form of orchestration proposed by Tabach (2013) is the *discuss-tech-without-it*, which corresponds to settings where it is not possible for students to have the technology element. Drijvers (2012) distinguishes one more type of orchestration, which he calls *work-and-walk-by*. In that orchestration, students work with a computer, either individually or in pairs, while the teacher walks between them to monitor their work and guide them when needed.

For Drijvers et al. (2009), teachers' different types of orchestration relate to their views on mathematical learning and teaching. For example, for one of his observed teachers it was important to achieve certain mathematical learning objectives, stressing the relationship between what happens in the technological and paper-and-pencil environments; thus, the type of orchestration that he used most was the *link-screen-board* one.

Drijvers et al. (2009) also point out that the *demo-technical* orchestration was the most prevalent among the observed teachers, because they "felt the need to familiarize students with basic techniques, in order to prevent technical obstacles from hindering the mathematical activities" (p. 6).

Based on these proposals, we analyzed the orchestration of the case study teacher. Next, we present the methodology of the study.

Methodology

As noted in the introduction, in 2017 we conducted a survey, using an online questionnaire, to get an insight into how university teachers use DT in their teaching of statistics. From the responses of 31 teachers, and interviews of three of them, the teacher, Mayra (pseudonym), was selected for a qualitative case study. As also noted, this teacher was chosen because she claimed to have a constructionist view of learning and teaching, which is why she uses technological tools in order to promote in her classes student-centered activities that will help them develop their conceptual learning (an appropriation) of statistical concepts.

We carried out an initial semi-structured interview with Mayra; observed 11 of her classes; and also had 6 conversations with her, in which she discussed details of her classes, the decisions she made and how her practice compares to other courses. All interviews (both formal and informal), as well as her classes, were recorded (audio for the interviews and video for the classes). We also analyzed the activities and assessments that she designed and implemented with her students.

The analysis of the data from the observations of her classes, focused on identifying the instrumental orchestration elements of her practice. Data from the interview and of her comments were used to complement the analysis of the classes and determine her vision of the teaching and learning of statistics and of the discipline itself.

The observation of the classes was divided into episodes when changes, in either the didactic configuration or in the mode of exploitation of Mayra's orchestration, were identified. We attempted to distinguish Mayra's types of orchestrations, using as reference those reported in the literature, and taking into account what Tabach (2013) pointed out, in terms of identifying whether an orchestration is a variant of another one, or a new orchestration.

In addition to that, guided by Papert's ideas (1980a, 1980b, 1991) and the synthesis of constructionist principles carried out by Sacristán et al. (2020), we attempted to identify the constructionist aspects in Mayra's classes.

Case study

Mayra's background, her teaching practice and her current activities design

Mayra is a biologist but has been teaching probability and statistical courses for 17 years, both at the undergraduate and graduate level. The topics covered in her courses have a strong practical orientation, as they address students of biology and environmental sciences.

DT resources always have been part of Mayra's teaching, because statistics needs them (for data processing, calculations and graphing). Initially, she used programs such as Excel, Statistica, and MiniTab, mainly to perform the calculations required in the formulas associated with a concept or statistical procedure. When using those resources, her classes used to have a traditional format, and only when necessary she showed students how to use those DT resources to perform calculations and get some results. The type of orchestration of those classes corresponded to the demo-technical one, where DTs were used to get a result that helped respond to a specific statistical problem.

When Mayra was introduced to the R programming language in 2007, she felt that her possibilities to statistically analyze the data of her professional practice were extended: "the window that opened to me when I got to know R, was precisely the possibility of adapting a set of analytical procedures to the data, and not the other way around".

A short time later, Mayra was introduced to the constructionist paradigm and was struck by the fact that learners did not need to be experts in programming to become creators of (increasingly complex) projects, be able to work independently and with, implicit or explicit, mathematical concepts. It was then that her view of statistics education changed and she decided to use R to develop a new way of teaching.

Thus, adopting the idea that students could construct their own knowledge, without the need of an excessively guided instruction but, rather, through a more constructionist pedagogy, Mayra designed a series of R-based activities so that students could explore data, using numerical, graphical and tabular records. In the course of several school cycles, Mayra refined the design of the activities: In her first proposals, the activities aimed to introduce the R programming language, so that later the students could use it for calculations and graphs; but in that case the tool was just integrated, without changing her teaching practice. The activities were then modified in order to explore statistical concepts (e.g. mean, standard deviation), or sets of concepts (included in the curricula) through different types of representations. For that, the activities present, through several parts, a particular problem involving a specific statistical concept. It should be noted that each activity leads the student to continuously explore and link the different types of representations, so that they can infer the result of an action, justify their decisions, explore the commands and propose different solutions. Mayra says: "The aim of the exercises became one that I had not been able to see[:] find in each of these thematic units, the essential concepts that they had to learn." She pointed out that her aim became to promote a more conceptual learning in her students through the activities that they had to solve, discuss and share. She explained that she is now aims to use DT resources, not to make easier what has always been done, but to rethink her teaching and change the usual roles in class of both teachers and students, as well as of technology.

Her activities with R are designed to be solved in class, in teams of two or three students. Through these activities, she aims to promote in students exploratory work with questioning and inference; in other words, students do a similar job to that of a statistical user. In this way, her activities coincide with what Papert promoted (1980a, 1980b): i.e., to use programming as an activity for students *to do*

math, instead of learning about math. Thus, as Kynigos (2015) explains, whereas traditional school practices may impose an artificial picture of mathematics, by presenting the products of mathematical activity, the constructionist paradigm focuses on the mathematical activity and the expression of meanings through the use of and tinkering of representations in the form of digital artifacts.

```

3  ##### ACTIVIDAD 11: ANOVA
4  #####
5  #####
6
7  # It has been observed that an increment in water temperature produces an increment in the
8  # metabolic rate of Maxquill crabs Libinia dubia, an important prey of several top predators
9  # considered key species in the commercial fisheries in the Yucatán Peninsula.
10 # The experiment consisted of exposing 12 crabs in each of 3 temperatures during 30 days and
11 # recording their oxygen consumption (mg O2/g dry weight/minute) individually by means of an open
12 # flux respirometer. Water temperature in treatments were: 18, (low); 25 (medium) and 30oC (high).
13 # Results are in the sheet 'respir' of the Excel file 'datosDEAD.xlsx'.
14
15 # Questions (Sample):
16 # a) Are the means and dispersions of the tree levels different?
17 # b) How is the distribution of the response variable?
18 # c) Is a single histogram of the response variable useful to answer this question?
19
20 boxplot(dat$oxi~dat$tempn)
21 plot(dat$oxi~dat$tempf)
22 hist(dat$oxi)
23 par(mfrow=c(3,1))
24 hist(dat[dat$tempf=="Baja",3]); hist(dat[dat$tempf=="Med",3]); hist(dat[dat$tempf=="Alta",3])
25 mean(dat[dat$tempf=="Baja",3]); mean(dat[dat$tempf=="Med",3]); mean(dat[dat$tempf=="Alta",3])
26 sd(dat[dat$tempf=="Baja",3]); sd(dat[dat$tempf=="Med",3]); sd(dat[dat$tempf=="Alta",3])
27 par(mfrow=c(1,1))
28
29 rm(list=ls())
30 setwd("C:/Users/Perla/OneDrive/Doctorado/Análisis")
31 dat<-read.xlsx("datosDEAD.xlsx","respir")
32 str(dat)
33 summary(dat)
34 names(dat)
35 dat<-read.xlsx("datosDEAD.xlsx","respir")
36 str(dat)
37 summary(dat)
38 <

```

Figure 1: Script of an R-based activity on Analysis of Variance (ANOVA)

For example, one of Mayra’s activities (see Figure 1) focuses on the analysis of variance (ANOVA) by presenting a real situation of the study of crabs under three temperature treatments. Some of the aims of the activity include exploring the components of the variance through the different representations and relating them to various elements in the ANOVA table (sum of squares, degrees of freedom, etc.); and familiarizing students with the F-distribution and the parameters that define it. The teacher explained that the purpose of this activity is for students to have to build representations themselves using R; that is, for

students to have to use an ANOVA table... to look there for certain values that will help them give an answer [to the situation raised]. Do the same graphically, forcing them to relate what they are seeing on a graph to the numerical value; make them reflect on the magnitude of that difference, or on that variation, or on that number in terms of the problem, in general, [or] in terms of the units being used.

Although Mayra's approach focuses on students solving activities, we also observed some of her regular lessons (without technology), and others where group discussions of the activities (with technology) were carried out. In her regular lessons she presents a statistical concept or method and the symbology to be used. She also leads discussions on the relationships of that concept with others

previously studied, and on relevant theoretical aspects. Mayra then assigns students an R-based activity to be carried out in teams of two or three students. When students complete the activity in R, or when Mayra needs to help them with their progress, she leads a group review of the activity.

Types of orchestration in Mayra's observed classes

Throughout our observations, of her regular lessons, the sessions where students carried out the R-based activities, and the group reviews of those activities, we identified four types of orchestrations in Mayra's practice, as presented below.

Discuss-tech-without-it orchestration. In her regular lessons, Mayra does not use technology; however, there are times when either she, or the students, refer to the R commands to talk about a concept or statistical process. For example, in an episode where the teacher asked for a reference value needed to interpret the F-value present in an ANOVA, under a null hypothesis, a student's answer was in terms of the R (qf) command used for calculating quantiles in hypothesis tests for the F-distribution. The teacher used this idea to discuss how R presents the results of an ANOVA. In this episode we observed the *discuss-tech-without-it* orchestration, where she explained how statistical processes in the R environment are presented and how R commands are used for expressing statistical ideas. In this orchestration, the didactical configuration corresponds to a traditional class arrangement, in which students follow the explanations of the teacher on the blackboard. In addition to this material artifact (the blackboard), the didactic configuration includes symbolic artifacts, such as graphic representations, symbols, and terms that denote certain statistical concepts and the contexts in which the statistical problems are presented (the problems are usually taken from real situations and data). The exploitation mode includes Mayra's explanations, using the blackboard for annotations and to illustrate concepts. Part of the exploitation mode relates to how Mayra's explanations are characterized, where she aims to discuss the relevance of a newly presented statistical concept and/or the approach of a particular method.

Although her regular lessons refer to the statistical content of the activities to be carried out by her students, these are not theoretical sessions with activities as a practical component; on the contrary: the discussions and contexts addressed in these regular lessons serve as a scaffolding for students, so that they can develop the activities in R. In this sense, the contexts of the proposed problems play an important role, and by referring to them, Mayra links her different types of class-formats. The orchestration of Mayra's regular lessons do not show constructionist aspects, since they are more instructionist (Papert, 1980b) ways of teaching, although she does promote student participation, so that students are not passive and they may benefit from what is discussed, which is fundamental for carrying out the R-based activities.

Work-and-walk-by orchestration. In classes dedicated to solving the activities, we observed the work-and-walk-by orchestration. Some of the artifacts involved in this didactical configuration are the resources shared in computer folders by the teacher, which include the designed activities as R-scripts and databases to be used with those activities. The symbolic artifacts include the (previously studied or newly presented in the lessons) statistical concepts. Other artifacts include the programming language, in particular the commands related to those statistical concepts. Following Papert's (1980a, 1980b) ideas, these artifacts become objects-to-think-with and for exploring the mathematical and statistical ideas.

The didactical configuration of this orchestration requires students to have access to the computer resources, and for the classroom setup to allow them to gather as teams on one or more computers. In classes that we observed, almost every student used their own computer. In the exploitation mode of the work-and-walk-by orchestration, the teacher promotes student teams to investigate, on their own, the R-based activity, looking for their own solutions, discussing them within each team and also with other teams; Mayra interacts with one team at a time, seeking to: (i) emphasize important aspects and

the relationship between the procedures/results of the activity and the theoretical concepts involved; and (ii) address students' particular doubts and difficulties.

How the teacher's aims for the programming activities are fulfilled, depends on how students are able to outline a solution proposal to the problem and refine it through different attempts, until reaching an appropriate response in terms of the given context. According to Mayra, the activities' approach generates a need for students to ask themselves "what do I want to do? What do I want to do it for? What is the information I'm going to get with that particular step, through that method?" Mayra states that when students fail an attempt, they need to find out the reason for such a result and that reflection exercise leads to a more profound learning than if they didn't make mistakes, where the result simply confirms their reasoning. These different roles of the teacher and students –the latter having an active role in their learning process– that involve collaboration and communication, are central constructionist aspects (as described in Sacristán et al., 2020) in this orchestration, which also includes other constructionist aspects such as: problem solving, exploration, the construction of new objects and/or ideas, the need to overcome obstacles and debug, etc..

One of the advantages of Mayra's proposed activities is that they are conceived and designed taking into account a problem from real biological/environmental practices (the students' study area), so that the context and the results of that problem become references for students. This helps articulate the explanations given in the regular lessons with what is done in the R environment. Sometimes, discussions that emerge during the activities are taken up in subsequent regular lessons to make connections between topics.

In Mayra's didactical performance, there are times when she decides to lead a plenary discussion of some proposed solution, of a result or of a doubt, either to facilitate the understanding of the concepts or to help the pace of the different teams in solving the problems.

Sherpa-at-work and link-screen-blackboard orchestrations. When Mayra leads classes to review the activities that were carried out, we observe a variation of the sherpa-at-work orchestration, in which a team of students participates to present their work. The didactical configuration consists of an arrangement where a team projects their work so that it can be shared with the other students. In the exploitation mode, the teacher selects a team of students to present and discuss how they followed the R-based activity guidelines, and their solutions to the problem –thus fulfilling the constructionist aspect of sharing and discussing "public entities" (Papert,1991).

The didactical performance in this orchestration includes the validation by the teacher of the different solution proposals, confronting the misconceptions and difficulties that arose in the activity, and the assessment of students' understandings of the concepts under study.

The review classes also involve the link-screen-blackboard orchestration. For example, during the review of an activity on the Additive Model, the first part focused on exploring the corresponding dataset and indicating its difference with datasets that were used in the T-test. In her explanations, she emphasizes how data needs to be arranged in order to perform the statistical method. She uses a whiteboard to show how data needs to be arranged, noting how subscripts can serve to distinguish between the numbering of a data observation and the treatment for each observation, and how this is reflected in the R `t.test` command inputs.

Conclusions

In this study we observed how Mayra, through her constructionist teaching approach, implemented activities, as promoted by Papert (1980a), to get her students involved in *doing* statistics through programming and by generating R-based representations, rather than learning *about* statistical concepts. Other constructionist aspects in Mayra's orchestrations were observed in her classroom dynamics and in the participants' roles (except in the regular lessons). In Mayra's three class formats, we identified four types of orchestrations. In the orchestration types presented in the research

literature (Drijvers et al. 2009, Guin & Trouche, 2002; Trouche 2004, Tabach, 2011, 2013) there are few examples where teamwork is encouraged. Mayra's orchestrations involve much more varied aims and considerations than those illustrated in Drijvers et al. (2010). Also, while the demo-technical orchestration is the most frequently observed in the study by Drijvers et al. (2010), Mayra's classes do not present this type of orchestration.

Pratt et al. (2011) state that immersion in the use of statistics software is important for teachers to gear student learning of statistical ideas, and helps them appreciate the role that DTs play in promoting understanding of statistical concepts and methods.

Mayra, using her own experience, generated activities that reflect a greater use of technology in the classroom. In this document we show a novel way to use the R programming language in the teaching of statistics, in which students have a much more active role in the construction of their knowledge.

References

- Biehler, R., Ben-Zvi, D., Bakker, A., & Makar. (2013). Technology for enhancing statistical reasoning at the school level. In M. A. Clements, A. J. Bishop, C. Keitel, J. Kilpatrick, & F. K. S. Leung (Eds.), *Third International Handbook of Mathematics Education* (pp. 643–689). Springer.
- Burrill, G. (2014). Tools for learning statistics: Fundamental ideas in statistics and the role of technology. In T. Wassong, D. Frischemeier, P. Fischer, R. Hochmuth, & P. Bender (Eds.), *Mit Werkzeugen Mathematik und Stochastik lernen -using tools for learning mathematics and statistics* (pp. 153–164). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Chance, B., Ben-Zvi, D., Garfield, J., & Medina, E. (2007). The role of technology in improving student learning of statistics. *Technology Innovations in Statistics Education* 1(1). <http://escholarship.org/uc/item/8sd2t4rr>
- Drijvers, P. (2012). Teachers transforming resources into orchestrations. In G. Gueudet, B. Pepin, & L. Trouche (Eds.), *From text to 'lived' resources: mathematics curriculum materials and teacher development* (pp. 265–281). Springer.
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P., Gisbergen, S. V., & Reed, H. (2009). Teachers using technology: Orchestrations and profiles. In M. Tzekaki, M. Kaldrimidou & H. Sakonidis (Eds.), *Proceedings of the 33rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 1, pp. 481–488). Thessaloniki, Greece: PME
- Guin, D., & Trouche, L. (2002). Mastering by the teacher of the instrumental genesis in CAS environments: necessity of instrumental orchestrations. *Zentralblatt Für Didaktik Der Mathematik*, 34(5), 204–211
- Kynigos, C. (2015). Constructionism: Theory of learning or theory of design? In S. J. Cho (Ed.), *Selected regular lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 417–438). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17187-6_24
- Martínez, S. L., & Stager, G. (2013). *Invent to learn. Making, tinkering, and engineering in the classroom*. Constructing Modern Knowledge Press.
- Papert, S. (1980a). Teaching children to be mathematicians vs. Teaching about mathematics. In R. P. Taylor (Ed.), *The Computer in the school: tutor, tool, tutee* (pp. 177–196). Teachers College Press, Teachers College, Columbia University.
- Papert, S. (1980b). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
- Papert, S. (1991). Situating constructionism. In Harel, I. & Papert, S. (Eds.), *Constructionism: Research reports and essays* (pp. 1–18). Ablex Publishing Corp.
- Pratt, D., Davies, N., & Connor, D. (2011). The role of technology in teaching and learning statistics. In C. Batanero, G. Burrill, & C. Reading (Eds.), *Teaching statistics in school mathematics—challenges for teaching and teacher education: A Joint ICMI/IASE Study* (pp. 97–107). Springer Science & Business Media.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies: Approches cognitives des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Ruiz, P., & Sacristán, A. (2019). Consideraciones de Profesores Universitarios sobre el Uso de Recursos Digitales para la Enseñanza de la Estadística. 5º Coloquio de Doctorado del Departamento de Matemática Educativa, Cinvestav. <http://www.matedu.cinvestav.mx/~5toColoquiodeDoctorado/matriarticulo5to.html>
- Sacristán, A.I., Santacruz-Rodríguez, M., Buteau, C., Mgombelo, J., & Muller, E. (2020). The constructionist nature of an instructor's instrumental orchestration of programming for mathematics, at university level. In B.

- Tangney, J., Rowan Byrne & C. Girvan (Eds.), *Constructionism 2020* (pp. 525–536). The University of Dublin, Trinity College, Ireland. TARA. hdl.handle.net/2262/92768
- Tabach, M. (2011). A mathematics teacher's practice in a technological environment: A case study analysis using two complementary theories. *Technology, Knowledge and Learning*, 16(3), 247-265.
- Tabach, M. (2013). Developing a general framework for instrumental orchestration. In B. Ubuz, C. Haser, M. Mariotti (Eds.), *Proceedings of the Eighth congress of the European Society for Research in Mathematics Education*, Antalya, Turkey (p. 2744 -2753). Ankara, Turkey: Middle East Technical University on behalf of the European Society for Research in Mathematics Education. https://www.mathematik.uni-dortmund.de/~erme/doc/CERME8/CERME8_2013_Proceedings.pdf
- Trouche, L. (2004). Managing the complexity of human/machine interactions in computerized learning environments: Guiding students' command process through instrumental orchestrations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*. 9(3), 281-307.

TIPOS DE ORQUESTACIÓN EN UN ESTUDIO DE CASO DE UNA ENSEÑANZA CONSTRUCCIONISTA DE LA ESTADÍSTICA

TYPES OF ORCHESTRATIONS IN A CASE STUDY OF A STATISTICS CONSTRUCTIONIST TEACHING PRACTICE

Perla Marysol Ruiz-Arias
Cinvestav, Mexico
pmruiz@cinvestav.mx

Ana Isabel Sacristán Rock
Cinvestav, Mexico
asacrist@cinvestav.mx

En este artículo se presenta un estudio de caso que forma parte de una investigación con profesores de estadística de nivel universitario para estudiar su incorporación de herramientas tecnológicas digitales en su enseñanza. El estudio de caso corresponde a una profesora que dice adoptar ideas del construccionismo para su enseñanza de la estadística con el lenguaje de programación R. La profesora desarrolló una serie de actividades con R, para promover la comprensión de conceptos estadísticos. Observamos 11 de sus clases, en un periodo de 3 semanas. Sus clases se analizaron considerando la noción de Orquestación Instrumental y los principios construccionistas de Papert. Identificamos cuatro formas en la que esta profesora orquesta su clase y los elementos construccionistas presentes en éstas.

Palabras clave: Matemáticas de Nivel Universitario, Análisis de Datos y Estadística, Tecnología, Programación y Codificación Computacional

Introducción

La estadística que se estudia en el nivel superior, y sus modelos avanzados precisan del uso de tecnologías digitales, debido en gran parte a las elevadas necesidades de cómputo y graficación de la disciplina. Además, investigadores en educación matemática señalan que su uso puede aprovecharse para replantear la enseñanza y el aprendizaje de conceptos estadísticos, promoviendo el desarrollo del pensamiento propio de la disciplina (Biehler et al., 2013) y permitiendo que los alumnos accedan a las ideas estadísticas fundamentales (Burrill, 2014).

En contraste con lo anterior, los resultados de una encuesta que realizamos en 2017, con profesores de estadística de nivel universitario (Ruiz & Sacristán, 2019) mostraron que, si bien los profesores utilizan distintos recursos tecnológicos digitales (TD), en su práctica docente, la mayoría tiende a limitar su uso al cómputo, graficación y visualización en las sesiones prácticas y/o en tareas, sin cambiar su forma de enseñanza ni llevando a cabo lo que ellos consideran que puede lograrse al usar TD.

Sin embargo, de entre los resultados, nos llamó la atención una profesora que utiliza el lenguaje de programación R² para involucrar a sus alumnos en actividades expresivas de exploración para confrontar sus intuiciones sobre los conceptos y la práctica estadística. Esta profesora señaló que hubo un cambio en la forma en que usa la tecnología en sus clases a partir de que conoció el planteamiento del construccionismo (Papert, 1991), enfoque que describimos más abajo. Así pues, a diferencia de la mayoría de los encuestados (Ruiz & Sacristán, 2019), esta profesora no se restringe a utilizar las TD para realizar cálculos y obtener gráficas para resolver tareas, sino que su principal objetivo es promover un aprendizaje más conceptual por parte de sus alumnos a través de la programación con R. Por ello, la forma de enseñanza de esta profesora llamó nuestra atención, y decidimos hacer un estudio de caso de ella para identificar de qué forma integra R, diseña y conduce las actividades con este lenguaje, para fomentar el aprendizaje conceptual de ideas estadísticas y cuáles de las ideas construccionistas son parte de su práctica.

Para el estudio de caso, hemos utilizado como marco teórico, la noción de Orquestación Instrumental (Guin & Trouche, 2002), la cual se deriva de la Aproximación Instrumental de Rabardel (1995). Al respecto, Drijvers et al. (2009) señalan que las diferentes formas de orquestación de los profesores se relacionan con su visión sobre el aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas. En la parte del estudio de caso, presentada en este documento, pretendemos identificar, en particular, la relación entre la visión de la profesora y sus formas de orquestación. Por ello, las preguntas de investigación que guían lo aquí descrito, es: ¿Qué tipo de orquestaciones se observan en la enseñanza de esta profesora?; y como sub pregunta ¿cuáles son los elementos construccionistas en esas orquestaciones?

Marco conceptual

La propuesta del Construccionismo

El paradigma construccionista propuesto por Papert (1991), parte de la premisa constructivista de que el aprendizaje implica una construcción de estructuras de conocimiento. La propuesta construccionista añade a esto, la idea de que el aprendizaje se promueve cuando un individuo se involucra conscientemente en la creación de una entidad pública –es decir, un objeto o producto que pueda ser compartido con otras personas (Papert, 1991). Así, esta propuesta enfatiza el rol activo del individuo en la construcción de su propio conocimiento.

Sacristán et al. (2020) identificaron una larga lista de los principios e ideas que forman parte de la propuesta construccionista. Desde su perspectiva, éstos se organizan alrededor de cuatro temas: (1) Epistemología y concepciones sobre el conocimiento matemático y sobre la matemática; (2) Concepciones del aprendizaje y el rol del estudiante; (3) La pedagogía y el diseño; y (4) La programación computacional y los micromundos.

Desde la perspectiva construccionista, el uso de artefactos TD en el aula requiere un replanteamiento de la forma de enseñanza, de manera que se hace hincapié en la indagación y en el aprendiz, no en un currículo específico o en hechos a ser aprendidos. Por esta razón, se promueve el uso de la computadora como algo con qué pensar (Martínez & Stager, 2013): Papert (1981) considera que la computadora puede proveer ambientes que permitan desarrollar y trabajar con ideas poderosas y/o habilidades intelectuales, que respondan a los intereses y necesidades de cada individuo, sobre todo a través de la programación. También considera que las eventualidades que surjan al programar, pueden ser oportunidades de aprendizaje.

Investigadores en educación estadística (e.g., Chance et al., 2007) coinciden que el uso de artefactos TD en la enseñanza debe ir acompañado de cambios en las formas de enseñanza; señalan, además,

² <https://www.r-project.org/>

que el profesor juega un rol importante en el aprovechamiento de las TD para alcanzar tal replanteamiento.

La Orquestación Instrumental

La noción de Orquestación Instrumental fue propuesta por Guin y Trouche (2002) para dar cuenta de cómo un profesor dirige y lleva a cabo sus clases. Se refiere tanto a las distintas formas en las que un profesor organiza y usa los artefactos disponibles, ya sean tecnológicos o no, así como al desempeño del profesor durante la clase para sacar provecho de dicha configuración.

La orquestación instrumental se define como la organización y uso sistemático e intencional de los artefactos a disposición del profesor en el aula, durante la realización de una tarea determinada en un ambiente de aprendizaje (Drijvers et al., 2009). Se compone de tres elementos: (i) la *configuración didáctica* que consiste en la disposición de los artefactos, ya sean o no tecnológicos, y del ambiente de aprendizaje; (ii) los *modos de explotación* que se refieren a las formas indicadas por el profesor para llevar a cabo la tarea dada, en busca de sacar provecho de la configuración propuesta; y (iii) el *desempeño didáctico* del profesor, incluye sus decisiones e intervenciones desarrolladas en el ambiente de aprendizaje (Drijvers et al., 2009).

La primera forma de orquestación instrumental mencionada en la literatura fue la llamada orquestación *alumno-sherpa*, en el cuál los alumnos desarrollan cierta tarea ayudados de un artefacto (una calculadora), mientras que el trabajo de uno de ellos se proyecta y el profesor, regula la intervención de dicho estudiante (Guin & Trouche, 2002). En esta orquestación la configuración didáctica consiste en un arreglo que permite a los alumnos observar la proyección y manejar su propia calculadora, siguiendo las acciones del alumno sherpa. El modo de explotación lo determina el profesor, indicando al alumno sherpa que acciones realizar.

Trouche (2004) también distingue la orquestación sherpa-en-el-trabajo, la cual tiene una configuración didáctica como la descrita antes y en cuyo modo de explotación se guía el trabajo de la clase a través del alumno sherpa. Otros tipos de orquestaciones identificadas por Drijvers et al. (2009) son: *demonstración-técnica*, *explica-la-pantalla*, *enlaza-pantalla-pizarrón*, *discute-la-pantalla*, *indica-y-muestra*. Los modos de explotación de las primeras tres orquestaciones implican que el profesor tome un papel central, mientras que las siguientes orquestaciones promueven la intervención de los alumnos. Por su lado, Tabach (2011, 2013) distingue otros tipos de orquestación: *monitorea-y-guía*, *no-usa-tecnología* y *discute-la-tecnología-sin-ella*. En la de monitorea-y-guía, el profesor utiliza un sistema de administración del aprendizaje para guiar a los estudiantes o llevar a cabo tareas similares a las de las orquestaciones demostración-técnica y explica-la-pantalla. En la orquestación no-usa-tecnología, la tecnología está disponible pero el profesor decide no hacer uso de ella. La última forma de orquestación propuesta por esta autora, *discute-la-tecnología-sin-ella*, corresponde a escenarios donde no es posible que los alumnos dispongan del elemento tecnológico. Drijvers (2012) distingue un tipo de orquestación más, al que denomina como *circula-mientras-trabajan* (*work-and-walk-by*). En esa orquestación, los estudiantes trabajan con una computadora, ya sea individualmente o en pares, mientras el profesor circula entre ellos para monitorear su trabajo y guiarlos cuando es necesario.

Para Drijvers et al. (2009), las diferentes formas de orquestación de los profesores se relacionan con su visión sobre el aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas. Por ejemplo, para uno de los profesores que observaron era importante alcanzar ciertos objetivos de aprendizaje matemático, vinculando lo que sucede en los ambientes tecnológicos y de papel-y-lápiz; así, utilizaba más frecuentemente la forma de orquestación enlaza-pantalla-pizarrón.

Drijvers et al. (2009) también señalan que la orquestación demostración-técnica era la más frecuente entre los profesores que observaron, debido a que éstos “sienten la necesidad de familiarizar a los

alumnos con técnicas básicas, para prevenir obstáculos técnicos que inhiban las actividades matemáticas” (p. 6).

Es con base en estas propuestas, que analizamos la orquestación de la profesora estudio de caso. A continuación presentamos la metodología del estudio.

Metodología

Como se señaló en la sección de introducción a este artículo, en 2017 realizamos una encuesta, mediante un cuestionario en línea, para tener un panorama sobre cómo profesores de nivel superior utilizan las TD en su enseñanza de la estadística. A partir de las respuestas de 31 profesores, y de las entrevistas a tres de ellos, se seleccionó a la profesora, que llamamos Mayra, para realizar un estudio de caso de tipo cualitativo. Como también se señaló, esta profesora fue elegida ya que decía tener una visión construccionista del aprendizaje y la enseñanza, razón por la cual utiliza las herramientas tecnológicas de manera que en sus clases se da un papel primordial a la actividad de los alumnos; además, busca promover un aprendizaje más conceptual en sus alumnos (una apropiación de los conceptos estadísticos).

Se realizó una entrevista inicial semi-estructurada a Mayra, se observaron 11 de sus clases, y se tuvieron 6 conversaciones fuera de clase en las que Mayra comentaba detalles de la clase, de las decisiones que tomaba y algunos contrastes de su práctica con otros cursos. Tanto las entrevistas (formales e informales) como las clases, se grabaron (en audio las entrevistas, en video las clases). También se recolectaron las actividades y evaluaciones que Mayra había llevado a cabo con sus alumnos.

El análisis de los datos de las observaciones de sus clases se centró en la identificación de los elementos de su práctica que componen el modelo de orquestación instrumental. Los datos de la entrevista y los audios de sus comentarios se utilizaron para complementar el análisis de las clases y para determinar la visión de la profesora respecto a la enseñanza y aprendizaje de la estadística y de la disciplina misma.

La observación de las clases se dividió en episodios, según se identificara un cambio, ya sea en la configuración didáctica, o en el modo de explotación de la orquestación de Mayra. Tratamos de distinguir sus tipos de orquestaciones, a partir de las señaladas en la literatura, considerando lo señalado por Tabach (2013) para identificar si se trata de una variante de cierta orquestación o de una nueva orquestación.

Adicionalmente, se llevó a cabo una identificación de los aspectos construccionistas de las clases de Mayra, guiado por las ideas de Papert (1980, 1981, 1991), y la síntesis realizada por Sacristán et al. (2020) en donde se distinguen los principios construccionistas.

Estudio de caso

Antecedentes de Mayra, sus formas de enseñanza y su diseño actual de las actividades

La profesora Mayra es bióloga pero cuenta con 17 años de experiencia docente impartiendo cursos de probabilidad y estadística, tanto a nivel licenciatura como posgrado. Los temas abordados en sus cursos tienen una fuerte orientación práctica, ya que se dirigen a alumnos de carreras biológico-ambientales.

Los recursos TD siempre formaron parte de la enseñanza de Mayra, debido a que en estadística no se puede prescindir de ellos (para procesamiento de datos, cálculos y graficación). Al principio, usaba programas como Excel, Statistica y MiniTab, principalmente para realizar los cálculos prescritos en las fórmulas asociadas al concepto o procedimiento estadístico. Cuando utilizaba esos recursos, las clases mantenían un formato tradicional y cuando era necesario, mostraba cómo utilizarlos para realizar cálculos y obtener algún resultado. El tipo de orquestación de esas clases,

correspondía a la *demostración-técnica*, donde las TD eran el medio para obtener un resultado a partir del cual responder a una situación estadística concreta.

La percepción de Mayra, al conocer el lenguaje de programación R en el año 2007, fue que se le ampliaron las posibilidades de analizar estadísticamente los datos de su práctica profesional: “la ventana que se me abrió cuando conocí R, fue justamente la posibilidad de adecuar un conjunto de procedimientos analíticos a los datos, y no al contrario”.

Poco tiempo después, Mayra conoció el planteamiento construccionista y le llamó la atención que los aprendices no necesitaban ser expertos en lenguaje de programación para convertirse en creadores de proyectos (cada vez más complejos), poder trabajar de forma independiente, y abordar, implícita o explícitamente, conceptos matemáticos. Fue entonces que su visión de la educación estadística cambió y decidió usar R para desarrollar una nueva forma de enseñanza.

Así, con la idea de que los alumnos pudieran construir su propio conocimiento, sin necesidad de una instrucción demasiado guiada, Mayra diseñó una serie de actividades buscando una pedagogía más construccionista, basadas en el uso del lenguaje de programación R para la exploración de datos, por parte de los alumnos, usando los registros numérico, gráfico y tabular. Durante varios ciclos escolares, Mayra depuró y refinó el diseño de las actividades: En sus primeras propuestas, las actividades buscaban introducir el lenguaje de programación R, para que después los alumnos pudieran utilizarlo para obtener cálculos y gráficas; siendo ésta, una incorporación de la herramienta sin cambiar la forma de enseñanza. Luego las actividades se modificaron para explorar conceptos estadísticos (e.g., media, desviación estándar), o conjuntos de conceptos (incluidos en los planes de estudio) a través de distintos registros de representación. Para ello, las actividades plantean una problemática particular, cuya resolución se lleva a cabo por etapas donde se pone en acción un concepto determinado. Cabe mencionar que cada actividad lleva al alumno a explorar y vincular continuamente los distintos registros de representación, a tratar de inferir el resultado de una acción, a justificar sus decisiones, a explorar los comandos y a plantear distintas propuestas de solución. Al respecto Mayra comenta: “el objetivo de las practicas se convirtió en un objetivo que yo no había sido capaz de ver[:] encontrar en cada una de esas unidades temáticas, cuáles eran los conceptos esenciales que tenían que aprender.” Señaló como objetivo promover en sus alumnos un aprendizaje más conceptual a través de las actividades que resuelven, discuten y comparten. Explicó que busca ahora un uso de los recursos TD, no como auxiliares para hacer más fácil lo que siempre se ha hecho, sino para replantear su enseñanza y cambiar los roles usuales en clase tanto del profesor y los alumnos, como de la tecnología.

Sus actividades con R están diseñadas para realizarse en clase, en equipos de dos o tres alumnos. A través de dichas actividades, buscaba promover en los alumnos un trabajo de exploración, de prueba y error, de cuestionamiento e inferencia; en otras palabras, que realizaran un trabajo parecido al de un usuario de la estadística. De esta manera, coincide con las propuestas de Papert (1980, 1981) de utilizar la programación como una actividad para que los alumnos *hagan matemáticas* en lugar de aprender acerca de las matemáticas. Así, mientras que en la escuela tradicional se impone una imagen artificial de las matemáticas, con objetos acabados de la actividad matemática, la propuesta construccionista se enfoca en esa actividad matemática y en la expresión de significados a través del uso y re-creación de representaciones en forma de artefactos digitales (Kynigos, 2015).

Por ejemplo, una de las actividades (ver Figura 1) trata sobre el análisis de la varianza (ANOVA): presenta una situación real en torno a cangrejos sometidos a tres tratamientos de temperatura. Algunos de los objetivos de la actividad incluyen explorar los componentes de variación en los distintos registros y relacionarlos con diversos elementos en la tabla de ANOVA (suma de cuadrados, grados de libertad, etc.), además de familiarizarse con la distribución de F y los parámetros que la definen. La profesora explicó que el propósito de esta actividad es que los alumnos tengan ellos mismos que construir las representaciones y programar; es decir, que

los alumnos [tengan] que ir a una tabla de ANOVA... a buscar ahí, ciertos valores que... [les permitan] dar una respuesta [a la situación planteada]... Hacer lo mismo gráficamente, obligarlos a relacionar lo que estaban viendo en una gráfica con ese valor numérico, hacerlos reflexionar sobre la magnitud de esa diferencia, o de esa variación, o de ese número en términos del problema en general, en términos de las unidades que estaban siendo utilizadas.

Si bien el planteamiento de Mayra se dirige hacia la resolución de las actividades por parte de los alumnos, también se observaron clases de tipo magistral (sin tecnología) y otras donde se hace una revisión grupal de las actividades (con tecnología). En las clases de tipo magistral se presenta un concepto o método estadístico y la simbología a utilizar. Se discuten las relaciones de este concepto con otros previamente estudiados y los aspectos teóricos pertinentes. Después, la profesora asigna a los alumnos una actividad en R, para realizarse en equipos de dos o tres alumnos. Al finalizar los alumnos la actividad en R, o en momentos donde la profesora requiere de uniformizar su progreso, se realizan las revisiones grupales de la actividad considerada.

```

7 # Se ha observado que un incremento en la temperatura del agua produce un aumento en la tasa metabólica del cangrejo
8 # Maxquíl, una importante presa de varios depredadores tope considerados recursos clave de las pesquerías de Yucatán.
9 # Se realizó un experimento con 12 maxquiles asignados aleatoriamente a cada uno de 3 tratamientos en los que se
10 # mantuvo la temperatura del agua en niveles comúnmente registrados en Dzilam de Bravo, Yucatán: Baja (18), Media (25)
11 # y Alta (30 oc), y se midió el VO2 consumido (mg de O2/g peso seco/minuto) por cada individuo mediante un dispositivo
12 # de respirometría de flujo continuo. Los resultados están en la hoja 'respir' del archivo 'datosDEAD.xlsx'.
13
14 # 1. Importa los datos en R, y verifica sus características y estructura. ¿Cuántas dimensiones tiene la tabla que
15 # importaste? ¿En qué difiere esta de aquellas usada en las pruebas de t para dos muestras?
16
17 # 2. Lee el problema con atención y responde a las siguientes preguntas:
18 # a) Identifica la relación causa-efecto que se pretende corroborar con este experimento.
19 # b) Identifica la variable de respuesta, y las unidades en que ésta fue medida. ¿Es una variable continua o discreta?
20 # c) Identifica la variable que explicaría la respuesta si se corrobora la relación causa-efecto que fue propuesta.
21 # ¿Es una variable continua o categórica?
22 # d) Identifica la unidad experimental. ¿cuál es el valor de n (i.e., réplicas por nivel)?
23 # e) Formula la hipótesis nula de este análisis en un enunciado simple.
24
25 # 3. Lleva a cabo una breve exploración gráfica y numérica de los datos de la tabla que te permita responder a las
26 # siguientes preguntas. (PISTA: usa funciones de 'boxplot', 'hist', calcula las medias y sd de cada grupo, y haz
27 # "subsetting" para separar los diferentes grupos de datos).
28 # a) ¿Son similares o diferentes los valores medios de los 3 grupos?
29 # b) ¿Son similares o diferentes las dispersiones de los 3 grupos?
30 # c) ¿Cómo es la distribución de la variable de respuesta? en la primera el
31 # d) ¿Es esta distribución similar entre los distintos niveles?
32
33 # 4. Aplica un ANOVA a los datos. Para ello se requiere primero obtener un modelo lineal usando la función 'lm'.
34 # Esta función ajusta un modelo lineal de la variable de respuesta en función de la variable explicativa. Como en este
35 # caso la variable explicativa es un factor (categórico), es conveniente hacerlo explícito. Puedes ajustar el modelo
36 # usando la tempf como variable explicativa. copia el siguiente comando y analiza la respuesta que R devuelve
37 # (PISTA: la primera línea de la respuesta es el modelo).
38 respir$tempn<-as.factor(respir$tempn)
39 is.factor(respir$tempn)
40 lm(respir$oxi~respir$tempn)
41 # ¿Reconoces alguno de los valores bajo el título de 'Coeficientes'? ¿qué crees que son éstos valores?
42 <

```

Figura 1: Guión de una actividad en R sobre Análisis de Varianza (ANOVA)

Tipos de orquestación en las clases observadas de Mayra

A lo largo de nuestras observaciones, tanto de las clases de tipo magistral, de las de resolución de actividades y de las de revisión, se distinguieron cuatro tipos de orquestación de Mayra, como se presenta a continuación.

Orquestación discute-tecnología-sin-ella. En las clases de tipo magistral de Mayra, ella no utiliza tecnología; sin embargo, hay ocasiones en que, ya sea la profesora o los alumnos, hacen referencia a los comandos en R relacionados con un concepto o proceso estadístico involucrado en la explicación. Por ejemplo, en un episodio donde la profesora preguntaba por un valor de referencia para interpretar el valor F obtenido en un ANOVA, bajo cierta hipótesis nula, un alumno dio su respuesta en términos del comando de R (qf) asociado al cálculo de cuantiles para la distribución F en pruebas de hipótesis. La profesora aprovechó esta idea para discutir la forma en que R despliega los resultados de un

ANOVA. En este episodio se observó la orquestación *discute-tecnología-sin-ella*, donde se explica el manejo de los procesos estadísticos en el ambiente de R y se utilizan sus comandos para expresar ideas estadísticas. En esta orquestación, la configuración didáctica corresponde al arreglo tradicional de una clase en la que los alumnos atienden la explicación del profesor, auxiliado del pizarrón. Además de este artefacto material (el pizarrón), en la configuración didáctica, se incluyen artefactos simbólicos, como las representaciones gráficas, los símbolos y los términos que denotan ciertos conceptos estadísticos y los contextos en los que plantea las problemáticas estadísticas (generalmente tomadas de situaciones y datos reales). El modo de explotación incluye las explicaciones de la profesora, usando el pizarrón para anotar e ilustrar. Parte del modo de explotación se relaciona con las características de las explicaciones de la profesora, las cuales buscan discutir la pertinencia de un nuevo concepto estadístico y/o del planteamiento de un determinado procedimiento.

Aunque las clases de tipo magistral hacen referencia al contenido estadístico de las actividades a desarrollar por los alumnos, no se trata de sesiones teóricas cuya componente práctica se encuentra en las actividades; al contrario: las discusiones y contextos abordados en esas clases de tipo magistral, sirven como andamiaje para los alumnos, para que puedan desarrollar las actividades en R. En este sentido, los contextos de las problemáticas planteadas juegan un papel importante, ya que la profesora conecta, a través de referencias a éstos, los distintos tipos de clases. En estas clases de tipo magistral de Mayra, no es posible señalar aún aspectos construccionistas en su orquestación, al ser más un modo más instruccional (Papert, 1981) de enseñanza, aunque Mayra busca la participación de los alumnos, para que no estén pasivos y sus clases le son valiosas, ya que lo discutido es fundamento de las actividades con R.

Orquestación circula-mientras-trabajan. En las clases dedicadas a la resolución de actividades, se observó la orquestación circula-mientras-trabajan (*work-and-walk-by*). Parte de los artefactos que componen esta configuración didáctica son los recursos electrónicos que la profesora comparte en carpetas con los alumnos, los cuales incluyen las actividades diseñadas en R y las bases de datos utilizadas. Entre los artefactos simbólicos se encuentran los conceptos estadísticos mismos (previos y los recién presentados en las clases de tipo magistral), además del lenguaje de programación, en particular los comandos que engloban dichos conceptos estadísticos. Estos artefactos constituyen entonces objetos con los cuales pensar y un medio para la exploración de ideas matemáticas, en particular, las estadísticas, siguiendo las ideas propuestas por Papert (1980, 1981). La configuración didáctica de esta orquestación requiere que los alumnos tengan acceso al recurso computacional y que el mobiliario del aula permita que se reúnan en equipo para utilizar una o varias computadoras. En las clases observadas, casi todos los alumnos utilizaban su propia computadora. Como modo de explotación, los alumnos realizan la actividad planteada en R, discutiendo entre ellos, en ocasiones también con otros equipos. Esta forma de orquestación, se centra en las actividades de los equipos de alumnos, permitiéndoles desarrollar sus propios intentos de solución. Mayra interactúa con un equipo a la vez, buscando: (i) enfatizar aspectos importantes y la relación entre los métodos/resultados de la actividad y los conceptos teóricos abordados; y (ii) abordar dudas y dificultades particulares de los alumnos.

El logro del objetivo de la profesora en las actividades de programación, se basa en la necesidad de los alumnos, de esbozar una propuesta de solución al problema e irlo refinando a través de distintos intentos, hasta alcanzar una respuesta que sea adecuada en términos del contexto dado. Siguiendo a Mayra, el planteamiento de las actividades genera en los alumnos la necesidad de preguntarse “¿qué es lo que quiero hacer? ¿Para qué quiero hacerlo? ¿Cuál es la información que voy a obtener con ese particular paso, en el procedimiento?” Mayra afirma que cuando los alumnos hacen un intento fallido, se enfrentan con la necesidad de encontrar el porqué de tal resultado y que este ejercicio de reflexión conlleva un tipo de aprendizaje distinto al obtenido en los intentos donde no se cometen errores, en los cuales el resultado ayuda a confirmar su razonamiento. El cambio en los roles del

profesor y los alumnos, el rol activo de éstos últimos en su proceso de aprendizaje, la colaboración y la comunicación, son aspectos construccionistas ligados a esta orquestación (Sacristán et al., 2020). También se observan otros aspectos construccionistas relacionados con la resolución de problemas, la exploración, la construcción de nuevos objetos y/o ideas y la superación de obstáculos o depuración.

Una de las virtudes de las actividades planteadas por Mayra es que se desarrollan considerando una problemática asociada a la práctica biológica/ambiental (el área de formación de los alumnos), de manera que el contexto y los resultados obtenidos se convierten en referentes para los alumnos. Ello da pie a la articulación de las explicaciones dadas en la clase magistral y lo realizado en el ambiente R. En ocasiones, las discusiones surgidas durante las actividades son retomadas en clases magistrales subsiguientes para relacionar los temas discutidos.

En su desempeño didáctico, hay momentos en que la profesora decide hacer una discusión plenaria de alguna propuesta de solución, resultado o duda, ya sea porque tiene un interés particular para facilitar el trabajo o la comprensión de los conceptos o porque busca que el trabajo de los distintos equipos sea un poco más homogéneo.

Orquestaciones sherpa-en-el-trabajo y vincula-pantalla-pizarrón. Finalmente, Mayra conduce clases en las que se revisan las actividades realizadas. En ellas, se observa una variación de la orquestación sherpa-en-el-trabajo (*sherpa-at-work*), en la cual participa un equipo de alumnos para presentar su trabajo. La configuración didáctica consiste de un arreglo que permita proyectar el trabajo de un equipo y que los demás alumnos lo observen. Como modo de explotación los alumnos de un equipo utilizan R para discutir sus respuestas a la actividad y seguir los planteamientos de la profesora – cumpliendo el aspecto de compartir y discutir “entidades públicas” que señala Papert (1991). El desempeño didáctico relativo a esta orquestación incluye la validación por parte de la profesora de las distintas propuestas de solución, la confrontación de las ideas erróneas y dificultades que surgieron en la actividad y la evaluación de la comprensión, por parte de los alumnos, de los conceptos abordados.

En las clases de revisión también se presenta la orquestación vincula-pantalla-pizarrón. Por ejemplo, durante la revisión de una actividad sobre el Modelo Aditivo, la primera parte se centraba en explorar el conjunto de datos e indicar la diferencia de éste con los conjuntos de datos usados en la prueba de T. Durante esta explicación, el énfasis estuvo en el arreglo de los datos para realizar el procedimiento estadístico. La profesora utilizó el pizarrón para representar los datos arreglados, señalando cómo los subíndices sirven para distinguir el número de dato y el tratamiento al que corresponde, y cómo esto se refleja en las entradas del comando *t.test*.

Conclusiones

En nuestro estudio se observó cómo Mayra, a través de una propuesta construccionista, puso en práctica actividades para que sus alumnos se involucraran en hacer estadística a través de la programación y generación de representaciones en R, en lugar de aprender acerca de sus conceptos, como propuso Papert (1980). Otros aspectos construccionistas en la orquestación de Mayra se observaron en la dinámica del aula, y en los roles de los participantes (excepto en las clases magistrales). En sus tres tipos de clases, se distinguieron cuatro tipos de orquestación de Mayra. En pocos de los tipos de orquestación presentados en trabajos previos (Drijvers et al. 2009, Guin & Trouche, 2002; Trouche 2004, Tabach, 2011, 2013), se fomenta el trabajo en equipos. Las orquestaciones de Mayra implican una planeación con intenciones y consideraciones mucho más variadas que las referidas en Drijvers et al. (2010). Por ejemplo, mientras que la orquestación-demo-técnica es la más frecuentemente observada en el estudio de Drijvers et al. (2010), en las clases de Mayra no se presenta este tipo de orquestación.

Pratt et al. (2011) señala que la inmersión en el uso de tecnología ayuda a los profesores a replantear el papel que las TD juegan en promover la comprensión de conceptos y métodos estadísticos. Mayra, por su experiencia propia, generó actividades que reflejan un mayor aprovechamiento de la tecnología en el aula. En este documento mostramos una manera novedosa de utilizar el lenguaje de programación R en la enseñanza de la estadística, en la cual los alumnos tienen un rol mucho más activo en la construcción de su conocimiento.

Referencias

- Biehler, R., Ben-Zvi, D., Bakker, A., & Makar. (2013). Technology for enhancing statistical reasoning at the school level. En M. A. Clements, A. J. Bishop, C. Keitel, J. Kilpatrick, & F. K. S. Leung (Eds.), *Third International Handbook of Mathematics Education* (pp. 643–689). Springer.
- Burrill, G. (2014). Tools for learning statistics: Fundamental ideas in statistics and the role of technology. En T. Wassong, D. Frischmeier, P. Fischer, R. Hochmuth, & P. Bender (Eds.), *Mit Werkzeugen Mathematik und Stochastik lernen -using tools for learning mathematics and statistics* (pp. 153–164). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Chance, B., Ben-Zvi, D., Garfield, J., & Medina, E. (2007). The role of technology in improving student learning of statistics. *Technology Innovations in Statistics Education* 1(1). <http://escholarship.org/uc/item/8sd2t4rr>
- Drijvers, P. (2012). Teachers transforming resources into orchestrations. En G. Gueudet, B. Pepin, & L. Trouche (Eds.), *From text to 'lived' resources: mathematics curriculum materials and teacher development* (pp. 265–281). Springer.
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P., Gisbergen, S. V., & Reed, H. (2009). Teachers using technology: Orchestrations and profiles. En M. Tzekaki, M. Kaldrimidou & H. Sakonidis (Eds.), *Proceedings of the 33rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 1, pp. 481–488).
- Guin, D., & Trouche, L. (2002). Mastering by the teacher of the instrumental genesis in CAS environments: necessity of instrumental orchestrations. *Zentralblatt Für Didaktik Der Mathematik*, 34(5), 204–211
- Kynigos, C. (2015). Constructionism: Theory of learning or theory of design? En S. J. Cho (Ed.), *Selected regular lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 417–438). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17187-6_24
- Martinez, S. L., & Stager, G. (2013). *Invent to learn. Making, tinkering, and engineering in the classroom*. Constructing Modern Knowledge Press.
- Papert, S. (1980). Teaching children to be mathematicians vs. Teaching about mathematics. En R. P. Taylor (Ed.), *The Computer in the school: tutor, tool, tutee* (pp. 177–196). Teachers College Press, Teachers College, Columbia University.
- Papert, S. (1981). *Desafío a la mente: Computadoras y educación*. Ediciones Galápagos.
- Papert, S. (1991). Situating constructionism. En Harel, I. & Papert, S. (Eds.), *Constructionism: Research reports and essays* (pp. 1–18). Ablex Publishing Corp.
- Pratt, D., Davies, N., & Connor, D. (2011). The role of technology in teaching and learning statistics. In C. Batanero, G. Burrill, & C. Reading (Eds.), *Teaching statistics in school mathematics-challenges for teaching and teacher education: A Joint ICMI/IASE Study* (pp. 97–107). Springer Science & Business Media.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies: Approches cognitives des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Ruiz, P., & Sacristán, A. (2019). Consideraciones de Profesores Universitarios sobre el Uso de Recursos Digitales para la Enseñanza de la Estadística. 5º Coloquio de Doctorado del Departamento de Matemática Educativa, Cinvestav. <http://www.matedu.cinvestav.mx/~5toColoquiodeDoctorado/matriarticul5to.html>
- Sacristán, A.I., Santacruz-Rodríguez, M., Buteau, C., Mgombelo, J., & Muller, E. (2020). The constructionist nature of an instructor's instrumental orchestration of programming for mathematics, at university level. In B. Tangney, J. Rowan Byrne & C. Girvan (Eds.), *Constructionism 2020* (pp. 525–536). The University of Dublin, Trinity College, Ireland. hdl.handle.net/2262/92768
- Tabach, M. (2011). A mathematics teacher's practice in a technological environment: A case study analysis using two complementary theories. *Technology, Knowledge and Learning*, 16(3), 247–265.
- Tabach, M. (2013). Developing a general framework for instrumental orchestration. En B. Ubuz, C. Haser, M. Mariotti (Eds.), *Proceedings of the Eighth congress of the European Society for Research in Mathematics Education*, Antalya, Turkey (p. 2744 -2753). Ankara, Turkey: Middle East Technical University on behalf of the European Society for Research in Mathematics Education. https://www.mathematik.uni-dortmund.de/~erme/doc/CERME8/CERME8_2013_Proceedings.pdf

Tipos de orquestación en un estudio de caso de una enseñanza construccionista de la estadística

Trouche, L. (2004). Managing the complexity of human/machine interactions in computerized learning environments: Guiding students' command process through instrumental orchestrations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*. 9(3), 281-307.