

# **Presentación de proyectos para la clase de Modelado y Simulación**

GENERACIÓN 2014

DCA - Cinvestav  
[rcadena@ctrl.cinvestav.mx](mailto:rcadena@ctrl.cinvestav.mx)



# Article 1

## Benford's Law in Dynamical Systems

Emanuel Rocha Campos, Gerardo E. Cardona Sánchez

### I. OVERVIEW

The purpose of this document is to present the results of simulations and experiments regarding the implementation of a physical dynamical system, in this case, an autonomous electronic circuit made in order to look for Benford's Law conformity of a physical quantity. The circuits that were chosen for this objective have various regions of operation and can be easily regulated, so an important amount of experiments and simulations were performed. Conformity to Benford's Law was achieved, and the circumstances under which the satisfactory results were obtained are also described in this document.

#### I. Benford's Law

Benford's Law, also called the First Digit Law refers to the frequency distribution of digits from a data source. The first observation was made by Benford [1] who looked through various sources of data and found that in some data sets the number 1 repeated about 30% of the time, while larger digits occur less frequently.

Benford's Law is the probability distribution for the mantissa with respect to base  $b \in \mathbb{N}$  1 given by  $\mathbb{P}(\text{mantissa}_b \leq t) = \log_b t \forall t \in [1, b]$  ; the special case dealt with in this document is that described by:

$$\mathbb{P}(\text{first significant digit}_{10} = d) = \log_{10}(1 + \frac{1}{d}), d = 1, \dots, 9$$

Today, this distribution is used in accounting fraud detection[2], Election data and Genome data. Also, a relation between the brain electrical activity and Benford's Law was encountered, and the researches noted that compliance with Benford's Law is influenced by the presence of the anesthetic sevoflurane, or destroyed by noise in the EEG[3].

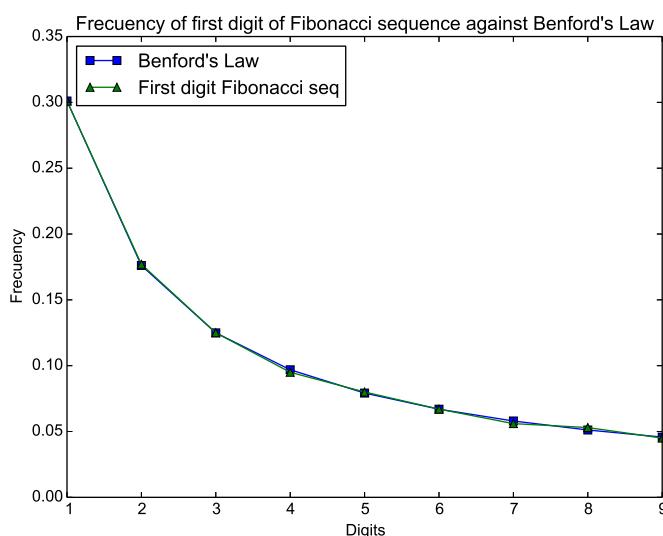
We give two examples where Benford's Law holds: the well known Fibonacci sequence, and population data from Mexico's Municipalities, obtained from INEGI.

### Fibonacci Sequence

The Fibonacci sequence consists in the sequence: 1,1,2,3,5,8,13,21,34,55,89,144, ... ; where the sequence can be defined as the recurrence relation:

$$f_n = f_{n-1} + f_{n-2}$$

Next, the most significant digit from the first 1000 Fibonacci numbers is obtained, and the frequency of repetition of number 1 as the first digit is calculated, the same can be done with number 2, and so on until number 9. Finally a plot of this frequency distribution against the distribution predicted by Benford's Law is presented.

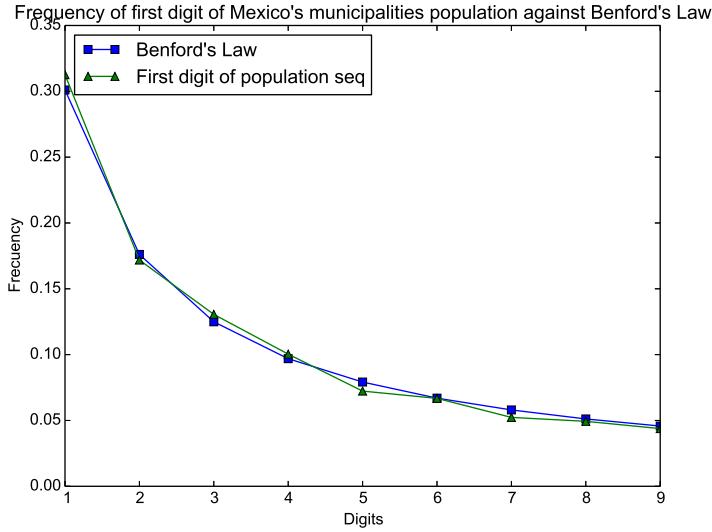


**Figure 1.1: Fibonacci Sequence against Benford's Law**

### Mexico's Municipalities Population

From the Mexico's National Institute of Geography and Statistics, INEGI, data from the 2010 census can be obtained. That year, 2351 Municipalities where censused and information is freely available at the institute web page.

As with the first example, the most significant digit of the population of each municipality was taken, and the frequency of repetition of each digit between 1 and 9 was compared with the prediction made by Benford's Law.



**Figure 1.2:** Fibonacci Sequence against Benford's Law

## II. Autonomous Circuits

An Autonomous Circuit is a circuit that produces a time-varying output without having a time-varying input[6]. More formally:

An electronic circuit is described by a system of ordinary differential equations of the form:

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{F}(\mathbf{X}(t), t)$$

Where  $\mathbf{X}(t) = (X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t))^T \in \mathbb{R}$  is called the *state vector* and  $\mathbf{F}$  is called the *vector field*.  $\dot{\mathbf{X}}(t)$  denotes the derivative of  $\mathbf{X}(t)$  with respect to time.

If the vector field  $\mathbf{F}$  depends explicitly on  $t$ , then the system is said to be *non-autonomous*. If the vector field depends only on the state and is *independent* of time  $t$ , then the system is said to be *autonomous* and may be written in the simpler form:

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{F}(\mathbf{X}) \quad (1.1)$$

The time evolution of the state of an autonomous electronic circuit from an initial point  $\dot{\mathbf{X}}$  at  $t=0$  is given by

$$\phi(\mathbf{X}_0) = \mathbf{X}_0 + \int_0^t \mathbf{F}(\mathbf{X}(\tau)) d\tau, t \in \mathbb{R}_+$$

The solution  $\phi(\mathbf{X}_0)$  is called a *trajectory* through  $\mathbf{X}_0$ , and the set  $\phi(\mathbf{X}_0), t \in \mathbb{R}_+$  is an *orbit* of the system (1.1). The collection of maps  $\phi_t$  that describe the evolution of the entire state space with time is called the *flow*.

An autonomous electronic circuit is an example of a *deterministic dynamical system*.

### III. Defining Chaos

*Chaos* is aperiodic long-term behavior in a deterministic system that exhibits sensitive dependence on initial conditions [4]

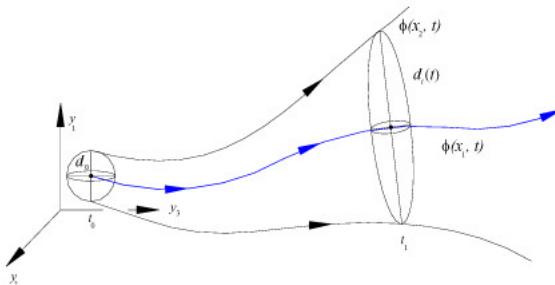
- *Aperiodic long-term behavior* means that there are trajectories which do not settle down to fixed points, periodic orbits, or quasiperiodic orbits as  $t \rightarrow \infty$ .
- *Deterministic* means that the system has no random or noisy inputs or parameters. The irregular behavior arises from the system's nonlinearity, rather than from noisy driving forces.
- *Sensitive dependence on initial conditions* means that nearby trajectories separate exponentially fast, i.e., that the system has a positive Lyapunov Exponent

#### Lyapunov Exponent

The Lyapunov exponent of a dynamical system is a quantity that characterizes the rate of separation of infinitesimally close trajectories[5].

Suppose that we let transients decay, so that a trajectory is *on* the attractor. Suppose  $\mathbf{O}(x, t)$  is a point on the attractor at time  $t$ , and consider a nearby point  $\mathbf{O}(t) + \delta(t)$  where  $\delta$  is a very small separation. It can be seen in the following figure, that  $\delta(t)$  grows. The two trajectories diverge with at a rate given by

$$\|\delta(t)\| \|\delta_0\| e^{\lambda t}$$



**Figure 1.3:** Neighboring trajectories separating exponentially fast with initial separation  $\delta_0$

When at least one Lyapunov exponent is positive the attractor possesses the property of sensitive dependence of initial conditions.

#### Chua's Circuit

- **Chua's Oscillator**

Leon Chua did research regarding Lorenz's equations[7][6], and devised a chaotic electronic circuit with only one non-linear element, which is a 5-segment piecewise-linear resistor.

The dynamics of the system can be modeled by the system of three nonlinear ordinary differential equations:

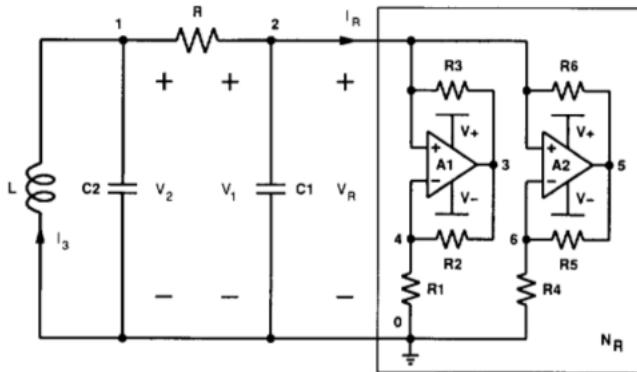


Figure 1.4: Schematic of Chua's Circuit

$$\frac{dV_1}{dt} = \frac{G}{C_1}(V_2 - V_1) - \frac{1}{C_1}f(V_1) \quad (1.2)$$

$$\frac{dV_2}{dt} = \frac{1}{C_2}I_3 - \frac{G}{C_2}(V_2 - V_1) \quad (1.3)$$

$$\frac{dI_3}{dt} = -\frac{1}{L}V_2 \quad (1.4)$$

(1.5)

with  $G = \frac{1}{R}$  and  $f(V_1)$  is given by:

$$\begin{aligned} \frac{G}{C_1}V_2 - \frac{G'_b}{C_1}V_1 - \left(\frac{G_b - G_a}{C_1}\right)E &\quad \text{if } V_1 < -E \\ \frac{G}{C_1}V_2 - \frac{G'_a}{C_1}V_1 &\quad \text{if } -E \geq V_1 \leq E \\ \frac{G}{C_1}V_2 - \frac{G'_b}{C_1}V_1 - \left(\frac{G_a - G_b}{C_1}\right)E &\quad \text{if } V_1 > E \end{aligned}$$

### • Properties

1. **Nonlinearity:** The system of equations has a nonlinear 2-terminal resistor described by a three segment piecewise-linear v-i characteristic shown in the following figure:  
The piecewise-linear nature of the nonlinearity in Chua's Oscillator divides the state-space of the circuit into three distinct affine regions ( $V_1 < E$ ), ( $|V_1| < E$ ) and ( $V_1 > E$ )
2. **Symmetry:** The piecewise-linear function is symmetric with respect to the origin, there exists three equilibrium points, at 0,  $P_-$  and  $P_+$ . In the following figure, a double scroll Chua's attractor is shown. Since three equilibrium points are involved, this attractor is symmetric with respect to the origin
3. **Dissipativity**

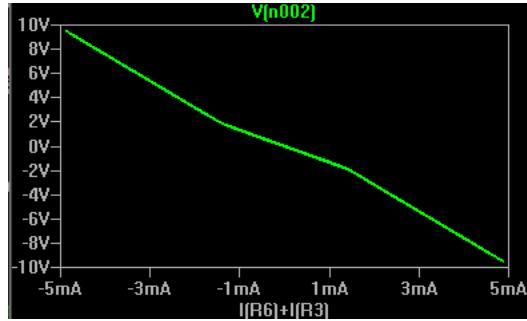


Figure 1.5:  $v$ - $i$  characteristic of the non-linear resistor

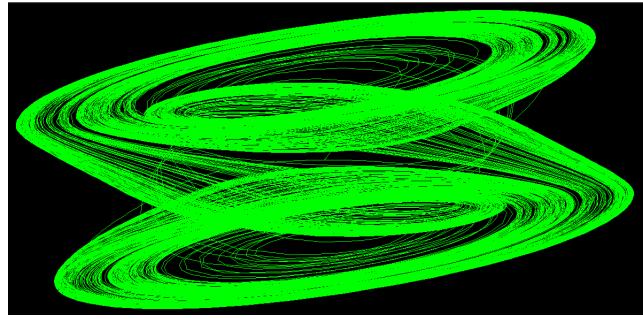


Figure 1.6:  $v$ - $i$  characteristic of the non-linear resistor

### Takougang Circuit

- **Three-dimensional autonomous system by Takougang et. al.** A three-dimensional autonomous system is presented by Sifei Takougang Kingni[8]. The system exhibits chaotic bursting oscillations.

The three-dimensional system is described as follows:

$$\frac{dx}{dt} = -x + y \quad (1.6)$$

$$\frac{dy}{dt} = xz - cy \quad (1.7)$$

$$\frac{dz}{dt} = b - x^2 - dz \quad (1.8)$$

where  $b, c, d \in \mathbb{R}$

- **Properties**

- **non-linearity:** Non-linearity given by the term  $x^2$  and  $xz$
- **symmetry:** Under the transformation defined by  $(x, y, z) \rightarrow (-x, -y, -z)$ , the system has a natural symmetry

Next, we show that the system is symmetric.

**Definition:** Let  $f$  be a smooth function  $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$  and let

$$\dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x})$$

be a system of ordinary differential equations. In addition, let  $\gamma$  be an invertible matrix. Then  $\gamma$  is a *symmetry* of the ordinary differential equation if

$$f(\gamma \mathbf{x}) = \gamma f(\mathbf{x})$$

Now, given the equation of the three-dimensional autonomous system, under the transformation  $(x, y, z) \rightarrow (-x, -y, -z)$ , to verify that this transformation is a symmetry of the autonomous equation, we observe that the symmetry is associated with the matrix  $\gamma$  defined as

$$\gamma = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

let

$$\dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} -x + y \\ xz - cy \\ b - x^2 - dz \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

with  $\mathbf{x}^T = (x, y, z)$

Now, we proceed to show that  $\gamma f(\mathbf{x}) = f(\gamma \mathbf{x})$ :

On the left hand side:

$$\begin{aligned} \gamma f(\mathbf{x}) &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x + y \\ xz - cy \\ b - x^2 - dz \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} x - y \\ -xz + cy \\ b - x^2 - dz \end{bmatrix} \end{aligned}$$

And now, on the right hand side:

$$\begin{aligned} f(\gamma \mathbf{x}) &= f\left(\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}\right) \\ &= f\left(\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}\right) &= \begin{bmatrix} x - y \\ -xz + cy \\ b - x^2 - dz \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Since the left hand side is equal to the right hand side, then  $\gamma$  is a symmetry of the Three-dimensional Autonomous System. In other words, all solutions are either symmetric themselves, or have a symmetric partner

- **Dissipativity** The system with the general condition for dissipativity (or Volume contraction):

$$\begin{aligned}\nabla V &= \frac{\partial(\frac{dx}{dt})}{\partial x} + \frac{\partial(\frac{dy}{dt})}{\partial y} + \frac{\partial(\frac{dz}{dt})}{\partial z} \\ &= -(1 + c + d)\end{aligned}$$

So

$$\begin{aligned}V'(t) &= -(1 + c + d)V \\ V(t) &= V(0)e^{-(1+c+d)t}\end{aligned}$$

Thus volumes in phase space shrink exponentially fast. An explanation of dissipativity is given in [4] page 320.

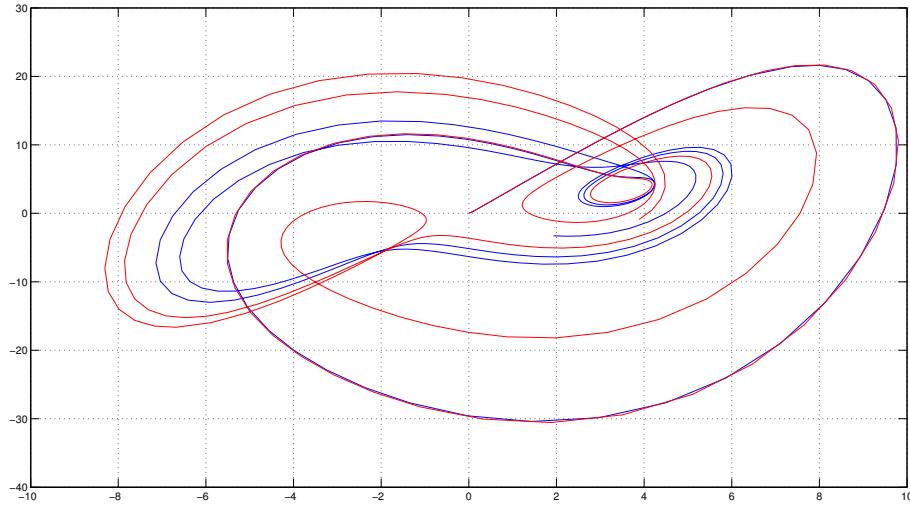
- **Fixed Points** The system has two types of fixed points:

$$\begin{aligned}0 &= -x + y && \Rightarrow x = y \\ 0 &= xz - cy && \Rightarrow z = c \\ 0 &= b - x^2 - dz && \Rightarrow x^2 + dz = b \Rightarrow x = y = \sqrt{b - dc}\end{aligned}$$

When  $b \leq dc$  the fixed points for  $x, y = 0$  and  $z = \frac{d}{b}$ . When  $b > dc$  the fixed points are  $(\pm\sqrt{b - cd}, \pm\sqrt{b - cd}, c)$

- **Sensitivity to initial conditions** Starting the system with slightly different initial conditions  $(0, 0.1, 0)$  and  $(0, 0.09, 0)$  we can see that after some time the two trajectories quickly diverge from each other

[8] Shows that the system presents chaos of horseshoe type.



**Figure 1.7:** Sensitivity to initial conditions in a Third Order Autonomous System

## II. SIMULATIONS

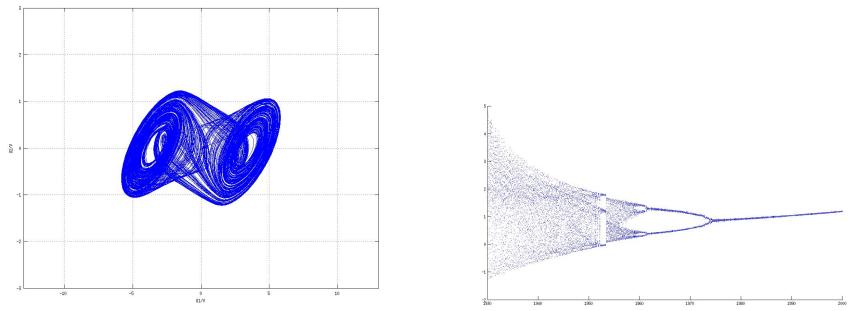
Simulations with Chua's System and the system proposed by [8] were used to see if any of the system follows Benford's Law. On one hand we used Simulink and MATLAB in order to produce bifurcation diagrams and set up the dimensionless differential equations. On the other hand, we used a SPICE-based circuit simulator in order to get the systems in terms of electrical components.

### Chua's Circuit

- **Physical Realization** The system describing chua's System

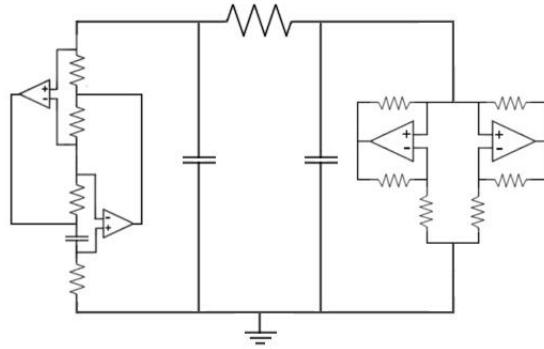
$$\begin{aligned}
 & \frac{G}{C_1}V_2 - \frac{G'_b}{C_1}V_1 - \left(\frac{G_b - G_a}{C_1}\right)E \quad \text{if} \quad V_1 < -E \\
 & \frac{G}{C_1}V_2 - \frac{G'_a}{C_1}V_1 \quad \text{if} \quad -E \geq V_1 \leq E \\
 & \frac{G}{C_1}V_2 - \frac{G'_b}{C_1}V_1 - \left(\frac{G_a - G_b}{C_1}\right)E \quad \text{if} \quad V_1 > E
 \end{aligned}$$

is given by the following schematic



(a) *V1-V2 plane for R=1785*

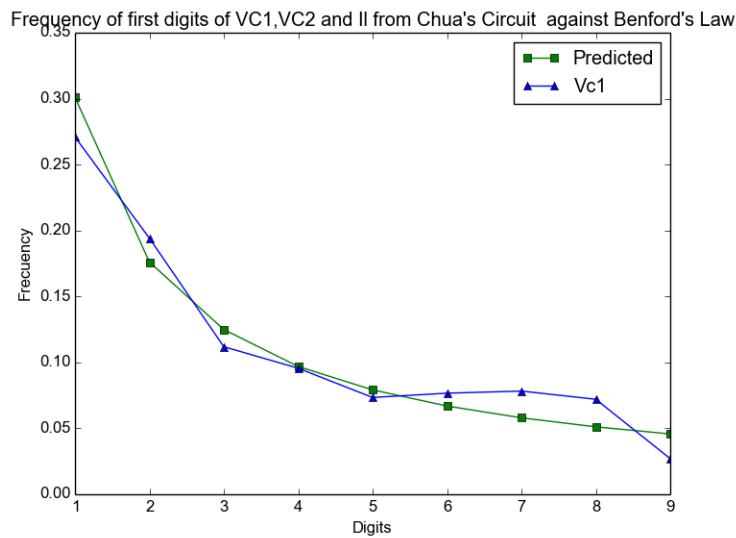
(b) *Bifurcation Diagram for Chua's Circuit*



**Figure 1.8:** OP-Amp Based realization of Chua's Circuit

With the Capacitors  $C_1=10\text{nF}$   $C_2=100\text{nF}$  and a  $8\text{mH}$  Inductor given by the gyrator circuit.

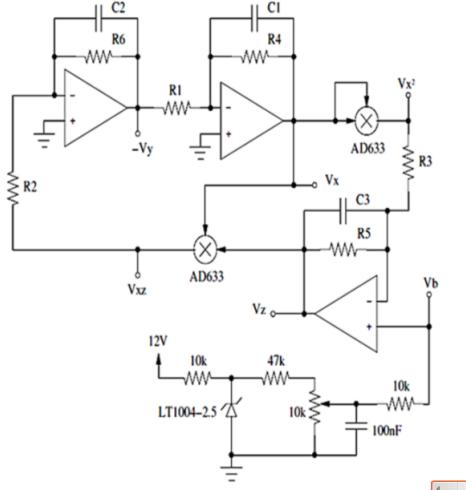
- **Numerical Simulations** Using a spice based simulation software and MATLAB, several resistor values were tested, we constructed the bifurcation diagram and plotted for some R values
- **Benford Analysis** The first digit distribution was determined from the voltage measured at the terminals of  $C_1$ , using a resistance value of  $1860\Omega$ , at that value, Chua's Circuit presented Chaotic Behaviour. The first digits (without leading zeroes) of the voltage values at discrete points were analyzed. We compared the first digit distribution of the dataset with the distribution given by Benford's Law using the Mean Absolute Deviation (MAD) proposed by [2]. We got a MAD value of 0.22, with a maximum of 0.15 in order to be conformant with Benford's Law.



**Figure 1.10:** OP-Amp Based realization of Chua's Circuit

### Three-Dimensional Autonomous Circuit

- **Physical Realization** The electronic circuit built to realise the system is shown in figure 2.4:



**Figure 1.11: Circuit Schematic**

Voltages  $V_x, V_y$  and  $V_z$  are the output voltages of the operational amplifiers representing  $x, y$  and  $z$ ,  $k_m = 10V$  is the fixed constant of the AD633 multipliers, so the outputs of the multipliers are  $V_{xz} = V_x V_z / k_m$  and  $V_{x^2} = V_x V_x / k_m$ .

Substitution of resistor values into Eqs. (1.5),(1.6),(1.7) yields:

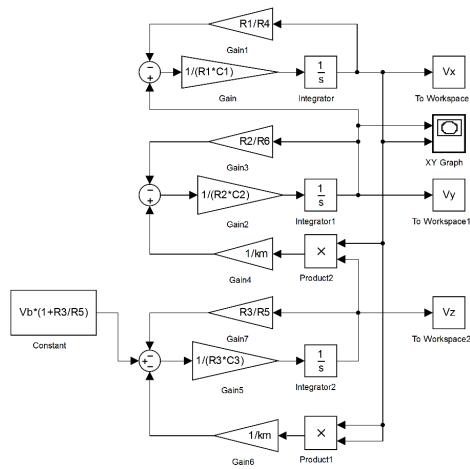
$$\frac{dV_x}{dt} = \frac{1}{R_1 C_1} \left( V_y - V_x \frac{R_1}{R_4} \right) \quad (1.11)$$

$$\frac{dV_y}{dt} = \frac{1}{R_2 C_2} \left( \frac{V_x V_z}{k_m} - \frac{R_2}{R_6} V_y \right) \quad (1.12)$$

$$\frac{dV_z}{dt} = \frac{1}{R_3 C_3} \left( V_b \left( 1 + \frac{R_3}{R_5} \right) - \frac{V_x^2}{k_m} - \frac{R_3}{R_5} V_z \right) \quad (1.13)$$

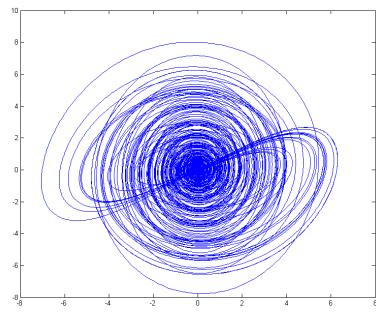
The values for resistors and capacitor used where:  $R_1 = 0.5 \text{ K}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ K}\Omega$ ,  $R_3 = 10 \text{ K}\Omega$ ,  $R_4 = 5 \text{ K}\Omega$ ,  $R_5 = 1.15 \text{ M}\Omega$ ,  $R_6 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $C_1 = 100 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 100 \text{ nF}$ ,  $C_3 = 10 \text{ nF}$ ,  $V_b = 10 \text{ K}\Omega$

- **Numerical Simulations** We used SIMULINK in order to model the system and MATLAB to create the bifurcation diagram.

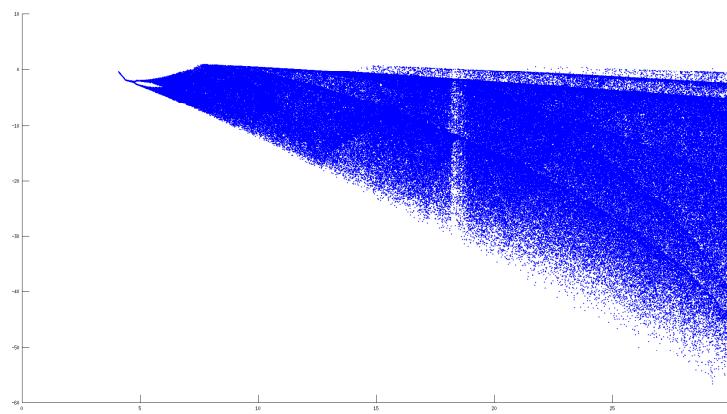


**Figure 1.12:** Simulink simulation

The response of the system with the parameters indicated above is given by figure 2.5:



(a)  $V1-V2$   $V_x$  vs  $V_y$  plot



(b) Bifurcation Diagram varying  $b$

Bifurcation diagram for the z value

- **Correspondence with Benford's Law** The same methodology used in Chua's Circuit was used with this circuit, taking measurements from  $V_y$  and using the MAD test to verify conformity with the First Digit Distribution

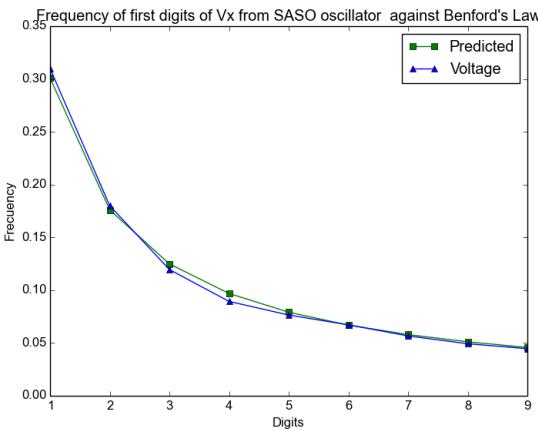


Figure 1.14:  $V_x$  against Benford's Law

For different values of  $d$ , we did a table with the respective first digit frequencies (10000 samples) and MAD test.

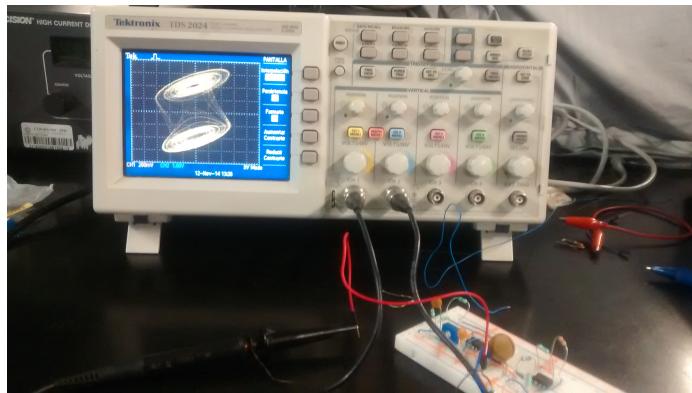
Leading digit	Benford Distribution	$d=1/23$	$d=0.03$	$d=0.01$	$d=0.001$	$d=0.00001$
1	0,3010	0,3296	0,3132	0,3166	0,2792	0,3108
2	0,1760	0,1787	0,1800	0,1801	0,1707	0,1781
3	0,1249	0,1111	0,1142	0,1196	0,1209	0,1230
4	0,0969	0,0856	0,0910	0,0894	0,0904	0,0941
5	0,0791	0,0727	0,0791	0,0765	0,0754	0,0731
6	0,0669	0,0604	0,0647	0,0672	0,0670	0,0691
7	0,0579	0,0581	0,0602	0,0567	0,0596	0,0565
8	0,0511	0,0565	0,0511	0,0493	0,0515	0,0496
9	0,0457	0,0473	0,0465	0,0446	0,0415	0,0457
MAD		0,0085	0,0042	0,0044	0,0053	0,0031

We noticed strong agreement given by Nigrini[2], next, we built the circuits and do tests measuring voltages.

### III. EXPERIMENTAL RESULTS

#### Chua's Circuit

- **Methodology** We constructed the circuit using 4 TL082 I.C.'s and commercial resistors with the values used during simulation, Trimmer resistors to be able to move the resistor values of R.



**Figure 1.15:** Chua's System Breadboard

We used two oscilloscope probes to measure the voltage from the two capacitors, and did our measurements with a Tektronix DS201 Oscilloscope with a direct method sampling.

The first digit distribution was determined from the voltage measured at the terminals of C1, varying R from  $1700\Omega$  to  $1900\Omega$  in  $25\Omega$  intervals, values in which Chua's Circuit presented chaotic behaviour. The first digits (without leading zeroes) of the voltage values at discrete points were analyzed, the oscilloscope allowed us to take 2000 samples from a  $250\ \mu s$  period. We compared the first digit distribution of the dataset with the distribution given by Benford's Law using the Mean Absolute Deviation (MAD) proposed by [2].

- **Results** We put a table with the MAD results at each value of R:

R	VC1	VC2
1700	0.0265740826252	0.0941252615083
1725	0.0308583854254	0.0894910362566
1750	0.0225012003889	0.0937811348396
1775	0.0213932963068	0.0894482136018
1800	0.0515553953624	0.0817178075546
1825	0.0620516456615	0.0757908400412
1850	0.0801858066881	0.0616474503737
1875	0.0864648516751	0.0566898036332
1900	0.0848654579991	0.0477795566486

The closest value we got was with R=1775 measuring VC1

- **Remarks**

We noticed that between R between 1730 and 1775, there is a more clear First Digit Distribution according to Benford's Law, however, the measurements did not comply with

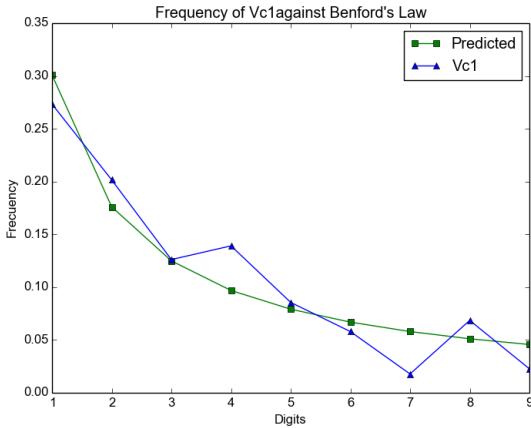


Figure 1.16: Benford's Law against VC1

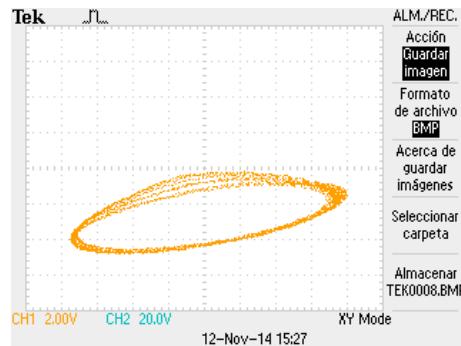
MAD's Criteria which expects at most 0.015 in order to be compliant with Benford's Law. We also took a measurement with  $R=2000\Omega$ , value at which the system behaves as a quasi-periodic oscillator. we noticed that the first digit distribution is more uniform.

### Takougang Circuit

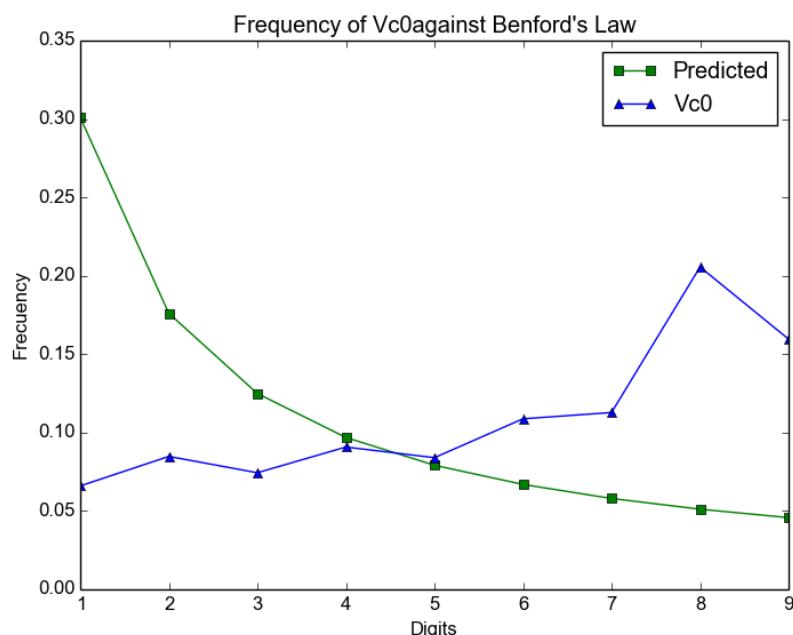
- **Methodology** The circuit was connected using a standard breadboard, according to the diagram, all passive components had a nominal value equal to the ones proposed in the schematic, with a tolerance of 5%. A regulated voltage source, set to  $\pm 12$  V was utilized to feed the active components which were the same as stated in the schematic. A third output of the regulated voltage source served to provide a stable input for the circuit ( $V_b$ ). Next, a digital oscilloscope was used in order to obtain the data provided by the circuit.

A 1 GHz band-width oscilloscope (Agilent DSO6104A) was used next, and it was configured in order to reduce random noise. The sampler uses an averaging algorithm which delivers data with less noise, and reduces the vertical resolution (as low as 0.7 mV), with the data obtained from that oscilloscope the analysis was more reliable and results confirmed what was expected from the simulations, although only 1000 samples in an interval of 10 ms were fetched.

- **Results** The first digit distribution of the voltages was taken and following the same methodology as with Chua's System, we swept through  $V_b$  and took the MAD value from each distribution



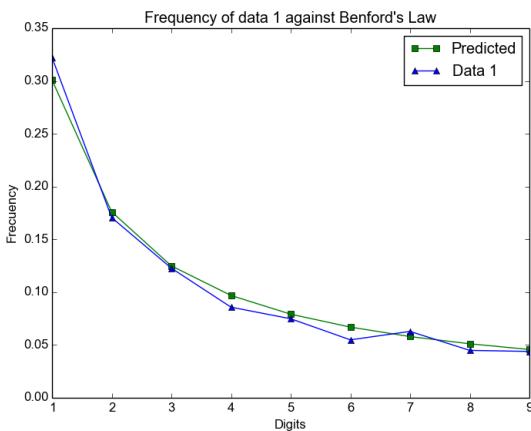
(a)  $V1-V2 V_x$  vs  $V_y$  plot



(b) Bifurcation Diagram varying  $b$

$V_b$	$V_x$	$V_y$
82mV	0.0775279989288	0.0607280417648
92mV	0.0789296997697	0.0620760330126
102mv	0.0779822062934	0.0620098514762
112mv	0.0722551588234	0.0586329019652
117mv	0.0731369417692	0.0565637073089
122mv	0.0761361923841	0.0607646781498
127mv	0.0702382876578	0.0581541345311
132mv	0.0726371865346	0.0568562424256
137mv	0.0723923763659	0.0588608733569
142mv	0.0689722218274	0.0566979795649
147mv	0.0649140903028	0.0492049220995
152mv	0.0689575397758	0.0540809650999
157mv	0.071269709088	0.0556102788266
167mv	0.0713877270204	0.0546276659144
187mv	0.0642837364043	0.0499581746439
197mv	0.0619961498144	0.0491763886427
217mv	0.0644054740322	0.0521147934116
237mv	0.0574813303354	0.0515391121266
257mv	0.0552768884655	0.0514296383228
277mv	0.0464325092508	0.0450451557158
112mv (H-Res)	0.0126362748635	0.0149581584175
132mv (H-Res)	0.0114562387312	0.0056682935093
152mv (H-Res)	0.0106402668795	0.0143777130129
172mv (H-Res)	0.0077090293797	0.0118696485616
192mv (H-Res)	0.00801241025011	0.0120739312228

We notice we have the best agreement with Benford's Law with  $V_b = 132mV$  Which gives a MAD value of 0.0056



**Figure 1.18:** Benford's Law against digit distribution of  $V_y$

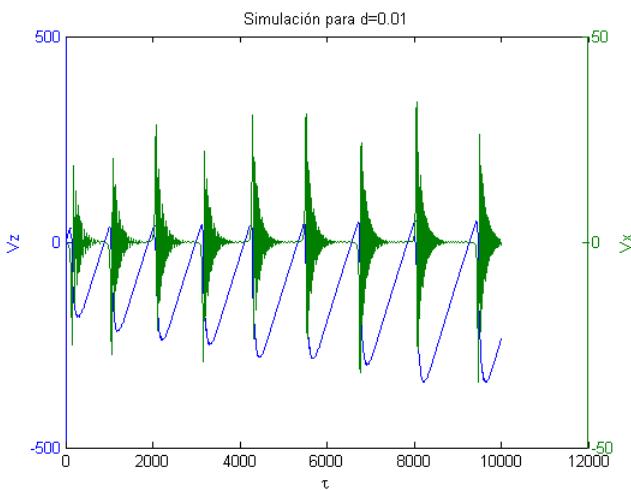
- **Remarks**

Simulations from Simulink gave a better accordance with  $V_b = 132mV$ , however measuring without High-resolution sampling we did not obtain proper distributions, until we activated that sampling method, we got a distribution according to Benford's Law

#### IV. CONCLUSION

In the work done by Tolle [10] some dynamical systems were proposed and theye checked if the first digit distribution followed Benford's Law. We took 2 autonomous circuits which displayed chaotic behaviour and verified if they were conformant according with the criterion given by Nigrini et. al. [2]. According to our experimental results, the system which best followed the distribution whas the Third Order Autonomous System proposed by Takougang et.al [8].

Verifying the results from [8], we notice that this circuit has a Shilnikov heteroclinic orbit, which implies by the Shilnikov Criterion that the system has horseshoe chaos. This type of chaos produces time signals called chaotic bursting oscillations (see Fig. 4.1)



**Figure 1.19:**  $V_y$  response as a function of time

This type of oscillations are found in biological phenomena, such as  $Ca^{2+}$  oscillations in non-excitabile cells [11], pancreatic  $\beta$  cells [12] and in neurons[13] and heart oscillations, also, the work by Kreuzer et. al. [3] indicates that brain electrical activity follows Benford's Law, so it would be interesting to see if Benford's Law could be an indicative if Real life phenomena is modelled correctly by the system if both follow Benford's Law (as it was first indicated by [10]) and also to try to verify if other systems that present this kind of oscillations also follow Benford's Law.

# Bibliography

- [1] Benford Frank, *The law of anomalous numbers*. Proc. Amer. Philos. Soc. 78, (1938), 551-572.
- [2] Nigrini Mark J., Mittermaier Linda J. *The use of Benford's Law as an Aid in Analytical Procedures Auditing: A Journal of Practice & Theory*, (1997), 52-67
- [3] Matthias Kreuzer, Denis Jordan, PhD, Bernd Antkowiak, Berthold Drexler, Eberhard F. Kochs, and Gerhard Schneider *Brain Electrical Activityobeys Benford's Law* Neuroscience in Anesthesiology and Perioperative Medicine, (2014), 183-191
- [4] Steven H. Strogatz *Nonlinear Dynamics and Chaos, With Applications to Physics, Biology, Chemistry and Engineering, Second Edition* Westview Press, (2014), 309-191
- [5] U. Parlitz *Lyapunov's Exponent from Chua's Circuit* Journal of Circuits, Systems, and Computers, Vol. 3, No.2 (1992), 507-523
- [6] Michale Peter Kennedy *Experimental Chaos from Autonomous Electronic Circuits* Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, (1995), 507-523
- [7] Ayrom F., *Chaos in Chua's Circuit*, IEE Proceedings, Vol. 133, No. 6 307-312 , 1986, 307-312
- [8] Sifeu Takougang Kingni, Lars Keuninckx, Paul Woafo, Guy Van der Sande, Jan Danckaert *Dissipative chaos, Shilnikov chaos and bursting oscillations in a three-dimensional autonomous system: theory and electronic implementation* Nonlinear Dynamics, 2013
- [9] Torres J. et al., *How do numbers begin? (The first digit law)*, Eur. J. Phys., Vol. 28, 2007, 17-25
- [10] Charles R. Tolle, Joanne L. Budzien, and Randall A. LaViolette *Do dynamical systems follow Benford's law?* Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science 10, 331, 2000
- [11] Perc, M., Marhl, M. *Different types of bursting calcium oscillations in non-excitatory cells*, Chaos Solitons Fractals 18, 759-773 2003
- [12] Sherman, A., Rinzel, J., Keizer, J. *Emergence of organized bursting in clusters of pancreatic  $\beta$ -cells by channel sharing*, Biophys. J. 54, 411-425, 1988
- [13] *Mathematical Foundations of Neuroscience* Interdisciplinary Applied Mathematics 35, 103-126, 2009



## Article 2

# Dinámica Agro-Socio-Ambiental en la conservación de la biodiversidad en México mediante la regulación de la calidad de la Matriz Agrícola

Alan Osorio Orduña, Sergio Naude Citalán

## RESUMEN

Hoy en día las reservas naturales están siendo afectadas por la actividad humana. La producción agrícola no planificada adecuadamente, genera destrucción del hábitat alterando los ecosistemas, de tal forma que en ocasiones resulta en un daño irreversible.

Disminuir el impacto ambiental provocado por las zonas de cultivo cercanas a reservas naturales sin interrumpir la producción agrícola, es una de las prioridades en diferentes partes del mundo.

En base a estudios que sean realizados en los últimos años se piensa que la matriz agrícola es de vital importancia. Es útil ver de manera gráfica y numérica los efectos que el hombre causa en la naturaleza. Razón por la cual se recopilo información de diferentes fuentes, todas relacionadas con el cultivo de café en Chiapas. Los datos recopilados fueron almacenados en una base de datos, para después ser utilizados para el modelo matemático realizado con cadenas markovianas. A partir de los resultados obtenidos en el modelo se describe la proyección a futuro de la calidad de la matriz. Los parámetros considerados para determinar la calidad de la matriz fueron de distintos ámbitos, desde flora y fauna del lugar, hasta métodos de cultivo y compuestos de plaguicidas y fertilizantes.

Con este proyecto se pretende configurar los parámetros necesarios para cambiar el estado de la calidad de una matriz a otro, o por el contrario mantenerlo en un tiempo determinado.

Se realizaron programas de software para visualizar y conocer el la calidad de la matriz

agrícola de las zonas de cultivos con respecto a las especies que habitan en los alrededores en un tiempo especificado.

Para la creación y depuración del programa se usó un compilador orientado a agentes, el cual permitió ver la interacción de las especies animales con el medio.

## I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano propicia cambios en los espacios circundantes, tales como la pérdida de áreas agrícolas y forestales a favor de los ambientes urbanizados, y cambios en las estructuras socioeconómicas relacionadas con el manejo y propiedad de la tierra.

Chiapas es un estado con un fuerte crecimiento pero que aún mantiene áreas forestales, que cuentan con esquemas de protección de sus bosques.

El efecto del crecimiento urbano es complejo y no unidireccional, pues representa una fuerte presión para el cambio de uso del suelo, pero también ha permitido la reactivación de actividades agrícolas de bajo impacto y la revalorización de las áreas forestales.

Chiapas es conocido por su alta diversidad de especies de mamíferos, sin embargo, en la entidad grandes extensiones de hábitats naturales han sido modificados a zonas agrícolas, lo cual se cree que disminuye la riqueza de especies.

Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la riqueza de suelo en zonas agrícolas del estado de Chiapas, particularmente en las que se cultiva café. Se recopiló información de las especies de flora y fauna de la región en bases de datos del gobierno estatal y federal, así como en colecciones de literatura científicas nacionales e internacionales.

## II. OBJETIVOS

- Descripción de la dinámica espacio-temporal de los factores agro-socio-ambientales relacionados con los sistemas agrícolas que impactan la calidad de la matriz agroecológica. Mediante el empleo de dinámicas Markovianas para la descripción de la evolución de la matriz agro-ecológica y considerando la interacción de territorios aledaños mediante dinámicas de agentes.
- Desarrollo de un simulador computacional capaz de analizar mediante sistemas de información geográfica y bases de datos disponibles el escenario del impacto de distintos tipos de manejo agrícola en diversos contextos socio- ambientales en la dinámica espacio-temporal de la matriz.

## III. MARCO TEÓRICO

### I. Cadenas de Markov

Se conoce como cadena de Márkov a un tipo especial de proceso estocástico discreto en el que la probabilidad de que ocurra un evento depende solamente del evento inmediatamente anterior. Si se conoce la historia del sistema hasta su instante actual, su estado presente resume toda la

información relevante para describir en probabilidad su estado futuro.

Si el estado  $X_n$  y los estados previos  $X_1, \dots, X_{n-1}$  son conocidos. La probabilidad del estado futuro  $X_{n+1}$ . No depende de los estados anteriores  $X_1, \dots, X_{n-1}$ . Solamente depende del estado  $X_n$ .

Es decir,

- Para  $n = 1, 2, \dots$  y
- Para cualquier sucesión de estados  $s_1, \dots, s_{n+1}$ .

$$\begin{aligned} P(X_{n+1} = s_{n+1} | X_1 = s_1, X_2 = s_2, \dots, X_n = s_n) \\ = P(X_{n+1} = s_{n+1} | X_n = s_n) \end{aligned} \quad (2.1)$$

## II. Matriz de transición

En matemáticas, una matriz de Markov es una matriz utilizada para describir las transiciones en una cadena de Markov. Existen varias definiciones y tipos de matriz estocástica:

- Una matriz estocástica derecha es una matriz cuadrada cada una de cuyas filas está formada por números reales no negativos, sumando cada fila 1.
- Una matriz estocástica izquierda es una matriz cuadrada cada una de cuyas columnas está formada por números reales no negativos, sumando cada columna 1.
- Una matriz doble estocástica es una matriz cuadrada donde todos los valores son no negativos y todas las filas y columnas suman 1.

Un proceso de Markov en que el sistema posee  $n$  estados posibles, dados por los números  $1, 2, 3, \dots, n$ . Denotemos  $p_{ij}$  a la probabilidad de que el sistema pase al estado  $j$  después de cualquier ensayo en donde su estado era  $i$  antes del ensayo. Los números  $p_{ij}$  se denominan probabilidades de transición y la matriz  $n \times n$   $P = (p_{ij})$  se conoce como matriz de transición del sistema.

La suma  $1 \dots p_{i1} + p_{i2} + \dots + p_{in} = 1$ . Esta suma representa la probabilidad de que el sistema pase a uno de los estados  $1, 2, \dots, n$  dado que empieza en el estado  $i$ . Ya que el sistema ha de estar en uno de estos  $n$  estados, la suma de probabilidades debe ser igual a 1. Esto significa que los elementos en cualquier renglón de la matriz de transición deben sumar 1. Cada elemento  $p_{ij} \geq 0$ .

De la misma manera, puede definirse un vector estocástico como un vector cuyos elementos están formados por números reales no negativos que suman 1. Así, cada fila (o columna) de una matriz estocástica es un vector de probabilidad, también llamados vectores estocásticos.

## IV. SIMULACIÓN

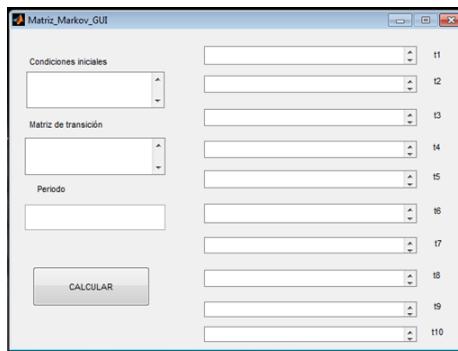
Dentro de la simulación son usados dos programas principalmente. El primero de ellos es Matlab con una interfaz gráfica, el segundo es el programa de desarrollo de ambientes NetLogo.

La interfaz gráfica implementada en Matlab permite ingresar los datos de la matriz de transición. Cada elemento de la matriz y el vector de condiciones iniciales son introducidos manualmente por el usuario. Después mediante un algoritmo de iteraciones entre el vector de condiciones iniciales y la propia matriz de transición, se obtiene un vector de salida. Éste último nos indica en qué tipo de clasificación se encuentra la matriz.

Primero se introducen las condiciones iniciales en forma de vector fila. Dichas condiciones indican la calidad de la matriz en un inicio, en escala de 0 a 1, siendo 1 excelente calidad. En base a diversas propiedades con las que cuenta la matriz es como se le asignan las componentes al vector. En el presente trabajo los factores considerados fueron:

- Tipo de cultivo.
- Fertilizantes y/o plaguicidas.
- Calidad de sombra.

La Figura 2.1 muestra la interfaz en Matlab



**Figure 2.1: Interfaz gráfica- Matriz de Markov**

La matriz de transición nos condensa las probabilidades de un estado a otro. A través de ésta matriz se puede observar el comportamiento representado por una cadena de Markov. Es decir, las propiedades de cambio entre los estados de la matriz agrícola.

Finalmente el periodo (en años) acota la escala de tiempo en la que se evalúa la matriz. Limitado por la información disponible, la proyección sólo se puede hacer máximo a 10 años.

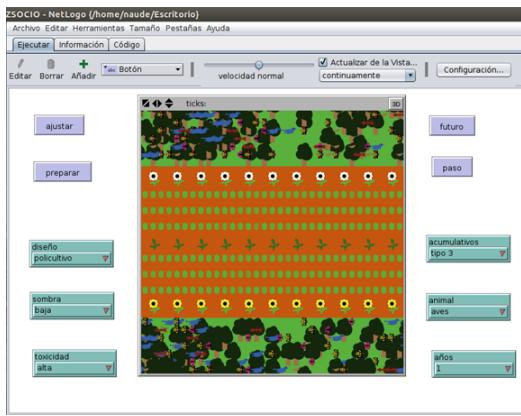
El vector de condiciones iniciales es el siguiente:

$$[ \begin{array}{ccc} 0.1 & 0.5 & 0.9 \end{array} ]$$

La matriz de transición fijada es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} 0.3 & 0.6 & 0.7 \\ 0.1 & 0.3 & 0.8 \\ 0.4 & 0.6 & 0.6 \end{bmatrix}$$

El programa en Netlogo muestra de manera gráfica la interacción de la matriz agrícola con especies animales. Además presenta el impacto que tienen distintos métodos de cultivo en la población de la fauna silvestre. La Figura 2.2 muestra el programa de Netlogo en ejecución.



**Figure 2.2: Interfaz en Netlogo**

## V. MANUAL DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN LA CALIDAD DE LA MATRIZ AGRÍCOLA DE CAFÉ

1. Se seleccionan los parámetros de la zona agrícola.
2. Tipo de diseño, sombra, toxicidad y acumulativos.
3. Se da clic en ajustar para que muestre la zona agrícola con los parámetros deseados.
4. Se selecciona el animal con el que se pretenda visualizar como atravesara la zona agrícola con los parámetros descritos anteriormente.
5. Se presiona el botón “preparar” para ajustar el entorno y las variables que van estar interactuando durante el paso de la especie animal por la zona agrícola.
6. Se presiona el botón “paso” para que avancen cierta cantidad de espacio los animales por la zona agrícola hasta que salgan de ella.
7. Se colocan los nuevos parámetros así como la cantidad de años que a la que se quiere visualizar como se verá la matriz a tiempo futuro con los nuevos parámetros.

## VI. CONCLUSIONES

Se prueba la importancia de la calidad de la matriz agrícola en su entorno (en este caso es específicamente la relacionada con el cultivo de café).

Se visualiza de manera gráfica y numérica el impacto de la matriz con su alrededor en un tiempo finito a través de la modificación de ciertos parámetros.

Se encuentra la ponderación de los parámetros que puede modificar de manera directa el hombre sobre la matriz agrícola en las zonas de cultivo de café.

Se logra visualizar los rangos de valores que deben tener los parámetros para reducir los daños generados por el hombre mientras realiza una actividad agrícola, en este caso el cultivo de café.



# Bibliography

- [1] I. I. P. Armbrecht and J. Vandermeer, "Enigmatic biodiversity correlations: Ant diversity responds to diverse resources.," *Science* 304:284-286, 2004.
- [2] N. A. Beecher, R. J. Johnson, J. R. Brandle, R. M. Case, and L. J. Young, "Agroecology of birds in organic and non organic farmland," *Conservation Biology* 16:1620-1631, 2002.
- [3] A. Berggren, B. Birath, and O. Kindvall, "Effect of corridors and habitat edges on dispersal behavior, movement rates, and movement angles in roesel's bush-cricket (metrioptera roeseli)," *Conservation Biology* 16:1562-1569, 2002.



## Article 3

# Interacción entre el Bienestar Psicológico y el Paisaje Sonoro

**Ing. Concepción Jazmín Suárez Polo, Ing. Milcom Elijah Peregrina Ochoa Resumen**

En el presente Proyecto, se realizarón grabaciones de campo en tres entornos sonoros distintos, catalogados como paisaje sonoro natural, natural con elemento humano y urbano. A partir de las grabaciones se procedió a un tratamiento digital de la señales, los datos obtenidos se utilizaron como referentes para el correspondiente entrenamiento de una red neuronal basada en el modelo de Retro-propagación que realiza una métrica espacial y temporal de la calidad de un paisaje sonoro, además de obtenerse la flexibilidad de caracterizar aquellos paisajes sonoros nocivos y su relación con el malestar psicológico.

### Abstract

In the current project, field recordings were performed in three different sound environments, categorized as natural soundscape, natural soundscape with human element and urban soundscape. From the recordings we proceeded to a digital processing of signals, data obtained were used as references for the corresponding back propagation neural network training, which performs a spatial and temporal soundscape quality metric, plus we obtained the flexibility to characterize harmful soundscapes and its relationship to psychological distress.

### 1. Introducción

Contrariamente a nuestra percepción visual, no podemos renunciar al sentido del oído, carecemos de “parpados auditivos”. Nuestra escucha es además “omnidireccional”, consciente o inconscientemente, la escucha constituye a menudo nuestro primer acercamiento y modo de comprensión del entorno. Prínciplamente nos servimos de ella como de un “radar” que nos informa de cuanto nos rodea y que nos indica en que hemos de fijar nuestra atención, al tiempo que nos permite descartar muchas otras fuentes de información [1].

Los sonidos que se escuchan hoy en día en cualquier ciudad son muy distintos de aquellos que podían escucharse hace algunos años, todo ello debido al rítmico cambio mayormente acentuado a partir de la Revolución Industrial. Muchos de los sonidos naturales del propio entorno se han visto opacados o desaparecidos del paisaje sonoro actual, la respuesta de los habitantes de un espacio con contaminación acústica se traduce en malestares psicológicos entre otras cosas. Hoy en día con el desarrollo de la ciencia y tecnología es posible explorar, estudiar y disfrutar los sonidos de estos tiempos, así como herramientas para el análisis de un paisaje sonoro partiendo de su descomposición en elementos. Y es justamente esta característica la que nos permite desarrollar herramiental para describir interacciones y mejorar la calidad acústica del ambiente.

## 2. Cronograma.

Semana	Actividades
1	Entrevistas
2	Elección de lugares y objetos agrabar
3	Gestión de permisos de grabación
4	Grabaciones en campo
5	Grabaciones en campo
6	Edición de los archivos y análisis en el dominio de la frecuencia
7	Extracción de los elementos característicos
8	Diseño de una red neuronal artificial por algoritmo de retropropagación
9	Entrenamiento de la red neuronal
10	Construcción de paisajes sonoros
11	Construcción de aplicación

Tabla 1. Cronograma de actividades.

## 3. Estado del arte

### 3.1 Surgimiento y desarrollo del concepto de paisaje sonoro.

El término paisaje sonoro deriva de paisaje terrestre [N. del T.: en inglés "soundscape" deriva de "landscape"]. El paisaje sonoro hace referencia a cualquier ambiente acústico, ya sea natural, urbano, o rural, que este formado por tres componentes: la biofonía: sonidos biológicos no humanos que se producen en una ambiente dado, la geofonía: sonidos ni humanos ni biológicos, como el efecto del viento, el agua o el clima, y la antrofonía: el ruido que produce el ser humano por cualquier medio [5]. Por lo tanto, el medio ambiente sonoro (o paisaje sonoro), que es la suma de la totalidad de sonidos dentro de un área definida, es un reflejo íntimo de -entre otros- las condiciones sociales, políticas, tecnológicas y naturales del área. Cambios en las mencionadas condiciones implican cambios en el medio ambiente sonoro [4].

El compositor canadiense R. Murray Schafer usó los términos paisaje sonoro ("soundscape") y ecología acústica para describir críticamente nuestro medio ambiente como un campo humano-ecológico ubicado entre "el sonido y el ruido". A partir de allí desarrolló la idea de una disciplina futurista, con claras influencias de la bauhaus<sup>1</sup>, el diseño acústico. Su idea era juntar compositores contemporáneos con arquitectos, diseñadores de productos e ingenieros a fin de desarrollar sonidos para los innumerables objetos de nuestra vida cotidiana [6].

Por su parte el compositor Barry Truax diferencia lo que es un medio ambiente sónico de un paisaje sonoro. Para él, el primero comprende toda la energía acústica en un contexto dado, mientras que el segundo es la comprensión de ese medio ambiente sónico para aquellos que viven en él y lo están creando continuamente.<sup>2</sup> Para Truax, la audición es algo fundamental, ya que constituye la interface entre el individuo y el medio ambiente, por lo tanto el paisaje sonoro es el sistema resultante de la suma de estos dos componentes. Para Abraham Moles el paisaje sonoro es una secuencia corta de entre 4 y 8 segundos que incluye una idea compuesta por uno o varios signos que nos describen algo que está sucediendo (ideoscena).

### 3.2 Características del paisaje sonoro.

"La vida cotidiana tiene una banda sonora. Si no la escuchamos, es porque ya estamos acostumbrados a oírla.", nos dice el musicólogo Ramón Pelinski.

Existen una multitud de sonidos a nuestro alrededor, sonidos propios de la naturaleza y aquellos generados cotidianamente en cada uno de nuestros quehaceres. Sin embargo pocos son los que realmente escuchan estos sonidos, estos paisajes que describen el lugar en el que vivimos y el entorno en el que nos movemos [7].

De acuerdo con Schafer, las cualidades de un paisaje sonoro son: "sonidos tónicos" (keynote sounds), un conjunto de rasgos de identidad constituido por cuanto oímos de forma distraída,

sin atención particular pues forman un continuo, un fondo sonoro al que estamos plenamente habituados,<sup>4</sup> “sonidos señales”, los sonidos que existen en un primer plano y que son escuchados de manera consciente. Son más que figuras de fondo y la mayoría de veces representan códigos; “sonidos importantes” (soundmarks), esto es, los sonidos que los individuos identifican como sonidos claves de su comunidad. Murray habla también de sonidos que se manifiestan como terreno (ground), que interpreto como sonidos fondo (background), y de figuras que se manifiestan en un primer plano (foreground),<sup>5</sup> así como de un tercer nivel llamado campo (field), que es el lugar desde el cual se escucha el paisaje sonoro.

En cuanto a paisajes sonoros urbanos tomaremos la definición de Ricardo Atienza, de acuerdo con él, cada espacio urbano posee unos rasgos sonoros característicos que nos comunican de sus cualidades espaciales, de las temporalidades y de los usos que lo habitan. Tales rasgos constituyen su identidad ordinaria, cotidiana. El continuo sonoro de las ciudades no es un “ruido” neutro y arbitrario; el estudio de sus atributos compositivos constituye un análisis cualitativo de las diferentes configuraciones urbanas [1].

No podemos comprender la identidad de un lugar sin conocer primero de que modo es habitado, recorrido y practicado un espacio. Análogamente, la identidad de cada persona estará vinculada en gran medida a los espacios que habite. Esta doble interacción nos permite comprender la identidad de un lugar como la expresión cualitativa de un espacio a través de sus modos de vida característicos. Podriamos decir entonces que, todo fenómeno de identidad no es sino el resultado de la tensión que se establece entre una memoria sonora y una escucha futura o proyectada o bien tratarse de un proceso dinámico tanto en las periodicidades cíclicas de cada día o de cada estación, como en la progresiva evolución social y espacial de un lugar [1].

### 3.3 Análisis del paisaje sonoro.

Murray Schafer propone varios parámetros para el análisis de objetos sonoros que forman parte de los paisajes sonoros:

1. Escuchado con claridad; claridad moderada; poca claridad; sobre el ambiente general.
2. Ocurrencia aislada; repetida; parte de un contexto más grande o mensaje.
3. Factores de medioambiente: sin reverberación, poca reverberación, larga reverberación, eco, flujo, desplazamiento.

A su vez Abraham Moles propone otros rasgos significativos del medio ambiente sonoro, de los cuales algunos de los más relevantes para este proyecto son los siguientes:

1. Número relativo de elementos. Densidad global de los acontecimientos.
2. Complejidad del conjunto de los elementos: número y variedad de las relaciones.
3. Relación entre la masa de los elementos “cercaños” y la de los elementos “lejanos” (noción de “primer plano”).<sup>6</sup>

El artista sonoro e investigador Manuel Rocha Iturbide, en su artículo “Estructura y percepción psicoacústica del paisaje sonoro electroacústico” añade dos aspectos más que no fueron abordados por Schafer y Moles, estos son:

1. La escucha lineal en oposición a la escucha no lineal de un paisaje sonoro determinado. Por el término lineal se refiere a una escucha en la que no podemos concentrarnos y seguir el transcurso de los eventos, y por no lineal, a una escucha en la que nuestra atención va constantemente de un lugar a otro, sin permitirnos asimilar o percibir continuidad.
2. El carácter continuo o discontinuo en la estructura del paisaje sonoro. Puede haber paisajes sonoros esencialmente continuos pero con elementos discontinuos, o viceversa.

### 3.4 Estructura del paisaje sonoro.

Schafer define dos características importantes para el análisis de paisajes sonoros, los paisajes sonoros Hi-Fi y Low-Fi. En los primeros, “los sonidos se sobreponen menos frecuentemente, hay perspectiva (amplitud de fondo)”<sup>7</sup>. Estos paisajes se manifiestan más en el campo que en la

ciudad. En los segundos, Lo-Fi, los distintos planos se empastan unos con otros, y es muy difícil discernir figuras o fondos claros. Estos paisajes son típicos de las grandes urbes debidas sobre todo al ruido del tráfico en las calles, periféricas y carreteras.<sup>8</sup>

Otros dos términos que usa Schafer son gesto y textura. El primero se refiere a una figura que constituye un único y distingible evento, y el segundo a un agregado, el efecto de manchas de imprecisión anárquica y de acciones conflictivas. En cuanto a la textura, Schafer realiza la siguiente clasificación: textura del medio ambiente escuchado: hi-fi, low-fi, natural, humano y tecnológico. Por su parte, Truax habla también de la densidad como un posible parámetro descriptivo.

### **3.5 Características estructurales para el análisis de paisajes sonoros.**

El investigador Manuel Rocha en su mismo artículo identifica cuatro tipos de paisajes sonoros, para este proyecto de investigación únicamente se utilizó *paisajes sonoros naturales*, *paisajes sonoros naturales con elemento humano* y *paisajes sonoros urbanos* para clasificar los entornos sonoros de estudio.

El paisaje sonoro natural corresponde a un entorno donde principalmente se detecta sonidos del agua, del viento, sinfonías pajariles, sonidos de insectos, etc. El paisaje sonoro natural con elemento humano, el cual se utilizó en el proyecto para clasificar espacios naturales en los que además de los sonidos propios de un paisaje natural podemos encontrarnos con sonidos de carácter discontinuo propios de la intervención del humano. El paisaje sonoro urbanos presenta una mayor riqueza de fuentes sonoras respecto a los anteriores pues en el podemos encontrar diferentes sonidos, ya sean humanos (voces, pasos, etc.), mecánicos (tráfico vehicular, máquinas, etc.) e incluso sonidos naturales (pájaros, fuentes de agua, etc.), los cuales contribuyen a la diferenciación de múltiples paisajes sonoros urbanos, los cuales coexisten y, en múltiples casos, se combinan dentro la aglomeración urbana.

Importante mencionar que de acuerdo con el investigador Manuel Rocha, el tiempo mínimo para poder comprender la estructura de un paisaje sonoro, así como para analizar su complejidad, es de unos 40 segundos. La decisión respecto a caminar y como girar el campo estéreo de los micrófonos durante el proceso de grabación, son decisiones de carácter estructural y de composición activa consciente.

### **4. Entrevista.**

La presente entrevista se realizó al experto en paisaje sonoro, grabación de campo y experimentación sonora Enrique Maraver Aguirre.

#### **1. Comentenos un poco sobre usted.**

- *Mi nombre es Enrique Maraver Aguirre, nacido en el Distrito Federal. Egresado del Instituto Politécnico Nacional como Ingeniero Químico Industrial, posteriormente me involucré en la cuestión del sonido hace casi 10 años. Empecé la producción de trabajos artísticos hace aproximadamente 7 años he publicado en distintos sellos en Portugal, Londres, España, Colombia, México, etc. He dado algunos talleres sobre paisajes sonoros y ecología acústica en España y en México. Entre mis proyectos se encuentran las producciones en grabación de campo, algunos proyectos de experimentación sonora partiendo de la naturalidad del sonido como una fuente de creación más allá artística sobre todo como un medio de sensibilización de la escucha y de incitar a la gente de que nuestro sentido auditivo es igual de importante que los demás y que esto conlleva a una cuestión de sensibilidad y de conciencia.-*

#### **2. Comentenos sobre su experiencia en la grabación de paisajes sonoros.**

- *He trabajado con 3 equipos para la grabación de campo que es Tascam, Zoom y Roland. Actualmente trabajo con Zoom y Tascam, a menudo he trabajado más con Tascam; la DR40 es muy versátil, cómoda y práctica, tiene la modalidad de grabar en mono, calidad dual y cuatro canales.-*

##### **a) ¿Qué técnicas de grabación utiliza con este equipo?**

- *Con la cuestión interna del grabador es en modalidad doble o cuatro canales, la técnica más bien la uso en el entorno como la dirección del equipo, la modulación de la entrada del audio, una técnica específica con*

*el grabador no hay me gusta explorar a veces lo que el mismo grabador interactuar con distintos niveles de decibeles, tipos de direcciones generalmente con la configuración X-Y, la A-B es más ruidosa.-*

**b) ¿Radio máximo de detección de sonidos?**

*-Depende de la entrada de audio, trae una modulación de entrada de audio que va desde 100 hasta 0. Depende del entorno en el que te encuentres, por ejemplo si quieras capturar una fuente que estés a menos de un metro o dos vas modulando la entrada de audio a un porcentaje de 30% aproximadamente si quieras capturar un sonido en un radio de 20m modulas a una cuestión de 50%-60%. Yo no lo uso a más del 50% porque la calidad de la grabación se hace más áspera empieza a capturar todo lo que pase y se saturan los micrófonos. Lo que hace difícil percibir y editar al mismo tiempo. Es muy importante realizar pruebas de escucha independientemente de la modulación y configuración deseada, esto es experimentar esta cuestión de espacio si es necesario desplazarse para capturar los sonidos que se requieran.-*

**c. ¿Cómo realiza la selección de puntos acústicos?**

*- Hay una teoría en la cual está plasmada por Murray Schafer, Barry Truax, la escuela actual de Chris Watson en Londres. Cada uno en esta cuestión es muy amplio desde un entorno natural, urbano, esto va dependiendo de lo que uno quiera analizar. Las iniciativas que uso son normalmente son más propias.-*

**3. ¿Cuáles son las consideraciones técnicas a la hora de realizar las grabaciones de audio?**

*- Normalmente la mejor calidad de grabación es en formato WAV, el Tascam DR40 trae la modalidad de grabar en MP3 y WAV. Para mí el mejor registro que puedes hacer con este grabador es en formato WAV a 48.1 kHz. Esto se recomienda como mínimo en calidad, normalmente realizo las grabaciones arriba de 24 bits.-*

*- Del montaje de la grabadora depende mucho un paisaje sonoro bien o mal capturado o más allá de un paisaje sonoro una buena o mala grabación. Evidentemente hay que tener un soporte para evitar deteriorar una continuidad en el paisaje tan solo con tocar la misma grabadora, lo cual conlleva editarla lo cual no indica que pierda la naturalidad pero te conlleva a hacer ajustes que pueden causarte inconvenientes. Utilizar también un cubre polvos que ayuda a que no se dañen los micros internos del grabador así como protegerlos del viento para evitar que la entrada de audio se sature de información.-*

*- Para investigación sugiero grabaciones tomas en distintos tiempos, en cuestión de tiempo no hay una exactitud depende del punto que uno quiera capturar.-*

**4. Comentarios sobre la estructuración del paisaje sonoro.**

*- Trato de editar lo menos posible mis grabaciones, lo único que generalmente hago es bajar o subir decibeles, cortar o poner entradas efectuarle más tratamientos sería afectar la cuestión sonora natural de lo capturado por lo que evito esta cuestión. El ajuste generalmente se realiza durante la grabación regulando la entrada de audio posteriormente en la edición modulo la cuestión del volumen y los dB con lo cual se elimina un poco el ruido, coloco un filtro de reducción de ruido normalmente del 2%. Para la edición sugiero un soporte con Adobe Audition, Audacity, Pro Tools, etc. El enfoque de espacio es muy importante en el paisaje sonoro, porque determina la información acústica que hay en el sitio, la geolocalización del lugar da mucha información de la diversidad sonora y cultural. El paisaje sonoro es la manifestación acústica del entorno pero también el entorno lo hacemos nosotros, la diversidad en la cual nos encontramos y en la cual nos desarrollamos es muy importante es esta espacialidad del lugar.-*

**5. ¿Qué aplicaciones has dado a los paisajes sonoros?**

*- Toda la gama de información que te puede representar el sonido es muy importante más allá de lo que estas escuchando, más allá de lo que uno está interpretando porque puede mantener la riqueza de un ambiente cuidado, las aplicaciones que he dado en mi trabajo han sido de sensibilizar al oído y representar una cuestión cultural, porque muestro una parte de la sonoridad de una región a otros oídos. -*

**5. Parte Experimental.**

**5.1 Equipo de grabación.**

- Grabadora portátil con microfonos integrados.

En el transcurso del proyecto se utilizo una grabadora portátil que incorpora microfonos en el propio cuerpo de la grabadora, pudiendo utilizarlas sin necesidad de tener que adaptarles microfonos externos. La característica común de estas grabadoras es que sus dimensiones son reducidas por lo que su manipulación en grabaciones de campo es sencilla. Las grabaciones obtenidas en el transcurso del proyecto se realizaron con la grabadora portátil Tascam DR40, la cual puede grabar minimamente en calidad cinematográfica (48 kHz, 24 bits).



Figura 1. Grabadora Tascam DR40

b) Audifonos sennheiser hd 205.

Para realizar grabaciones de campo se utilizan audifonos de tipo cerrado para aislar lo máximo posible el ruido externo y tener una mayor precisión en la escucha de la grabación. Los audifonos seleccionados para tal fin fue el Sennheiser hd 205 principalmente por su característica de respuesta en frecuencia, 18-20 kHz.



Figura 2. Audifonos Sennheiser hd 205

c) Accesorios:

i) Trípode: El trípode es un soporte fijo para el microfono. Lo utilizamos principalmente para no causar ningun tipo de ruido debido al manejo, ni al movimiento del grabador.

ii) Antiviento. El antiviento es una cubierta para la grabadora digital portátil diseñada para mitigar las frecuencias asociadas al viento. Se podria decir que es el accesorio más importante para realizar grabaciones de campo.



Figura 3. Grabadora Tascam DR40 montada en trípode y con antiviento

## 5.2 Grabación de campo.

La primera característica del paisaje sonoro corresponde al formato en el que se grabó y los micrófonos utilizados. Durante las grabaciones en campo se utilizó la grabadora de mano Tascam DR40 configurada para un formato de grabación estéreo y una técnica microfónica X-Y, los dos micrófonos internos de esta grabadora son tipo condensador.

Se realizaró grabaciones de paisajes sonoros en tres contextos diferentes, en cada uno de ellos la técnica de grabación es muy similar dependiendo del modo y forma en que se deseó capturar los instantes sonoros, eventualmente nos desplazábamos un poco para detectar con mayor nitidez algunos de los elementos más relevantes del paisaje. A continuación se anexa la metodología que se utilizó para cada caso.

### 5.2.1 Paisaje sonoro natural, natural con elemento humano y urbano.

En los inicios del proyecto se buscó un área geográfica dentro del Distrito Federal que pudiera proveernos de un paisaje sonoro con las características propias de un entorno natural, la elección del espacio de estudio se seleccionó ajustándose en torno a los recursos materiales y económicos con los que se disponía. Así el área dispuesta para este fin fue la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de la UNAM (REPSA), de la cual se seleccionaron dos áreas: paseo de las esculturas y centro escultórico. Para el acceso a estas áreas se requiere tramitar el permiso correspondiente ante la SEREPSA (Secretaría de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel), el cual se recomienda realizar con al menos dos semanas de anticipación, una vez liberados los permisos se procedió a la identificación y localización de puntos acústicos.

Las primeras grabaciones se realizaron en formato estéreo, a 44.1 kHz y 16 bits, con la técnica microfónica A-B, monitoreando en todo momento la grabación con audífonos. Tras realizar los primeros análisis de las grabaciones se notó la inevitable intervención de los sonidos propios de la urbe (claxon, motor de automóviles, martilleos, etc.), pocos eran los puntos acústicos en los que no se detectara algo similar y es por esto que se decidió clasificar a las grabaciones obtenidas en Paseo de las Esculturas como paisajes naturales con el elemento humano.

Después de las primeras grabaciones tuvo lugar la primera entrevista con el experto en paisaje sonoro, grabación de campo y experimentación sonora Enrique Maraver Aguirre. En la cual se tuvo la oportunidad de identificar los factores que debían corregirse y algunos más que debían ser añadidos, entre estos:

- Utilizar antiviento en la grabadora portátil Tascam DR40
- Grabación con calidad mínima cinematográfica a 24 bits y 48 kHz

- Ajuste del nivel de entrada entre 38%-50% para evitar que los sonidos grabados distorsionen debido a señales de entrada demasiado potentes o que sean inaudibles por entradas demasiado débiles en comparación con el ruido de fondo. Así como también una reducción de picos a -12 dB.
  - Técnica microfónica X-Y
  - Monitoreo con audífonos, marcas recomendadas SENNHEISER o BOSE.

Las subsecuentes grabaciones que se obtuvieron se realizaron en base a tales recomendaciones. Cabe comentar tambien que se tuvieron algunas inconvenientes en cuanto al acceso a las instalaciones de la REPSA debidas a las festividades del 2 de noviembre y después a las marchas realizadas por estudiantes de la UNAM, aun cuando se contaba con los permisos.

Por otra parte se eligió para las grabaciones del paisaje sonoro natural el Parque Nacional “La Malinche”, localizado en el estado Tlaxcala. Las grabaciones se llevaron a cabo en un horario entre 9:00 a.m. y 12:00 p.m. a lo largo de la misma ruta durante las dos sesiones de grabación a un nivel de entrada entre 40% y 50%, con el correspondiente formato de grabación antes mencionado y el equipo complementario.

Para la captura de un paisaje sonoro urbano se seleccionó El Mexipuerto Ciudad Azteca, las grabaciones se realizarón con las características técnicas utilizadas en los dos casos anteriores.

### 5.3 Edición y análisis de las grabaciones.

Para la edición y el análisis de las grabaciones se procedió de la siguiente manera:

- a) Se realizó una base de datos de las grabaciones obtenidas, los datos capturados corresponden a la ubicación geográfica (lecturas con GPS durante las grabaciones en paisaje sonoro natural), tiempo de grabación, día y fecha.
- b) Posteriormente mediante el programa de cómputo de código abierto Audacity se realizaron correcciones en los audios para eliminar los sonidos capturados propios de la manipulación del equipo durante las grabaciones, la herramienta básica aparte de la escucha atenta es visualizar el espectrograma del audio como se muestra en la siguiente figura.

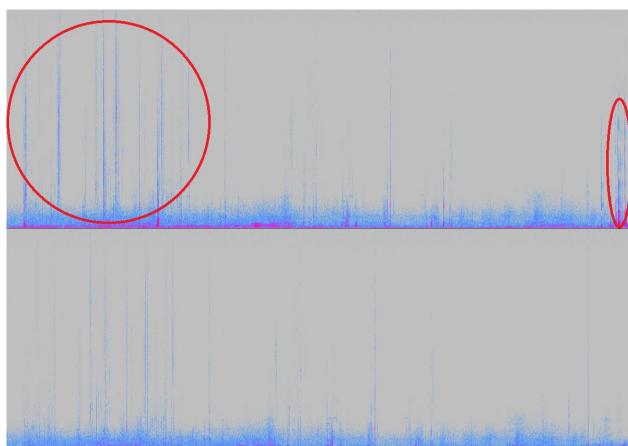


Figura 4. Espectrograma antes y después de correcciones

- c) Se realizó la extracción de sonidos característicos para la posterior construcción de los paisajes sonoros, utilizando la herramienta de espectrograma en Audacity.
- d) Por otra parte, las grabaciones se fraccionaron en audios con un minuto de duración para homogenizar el tratamiento de la información. Después, cada uno de estos se editó en Audacity para el análisis de su espectro en el dominio de la frecuencia, con las siguientes propiedades:
  - i) Algoritmo: Espectro
  - ii) Función: Ventana de Hanning

- iii) Tamaño de muestreo: 1024 bits
- iv) Eje: Frecuencia lineal

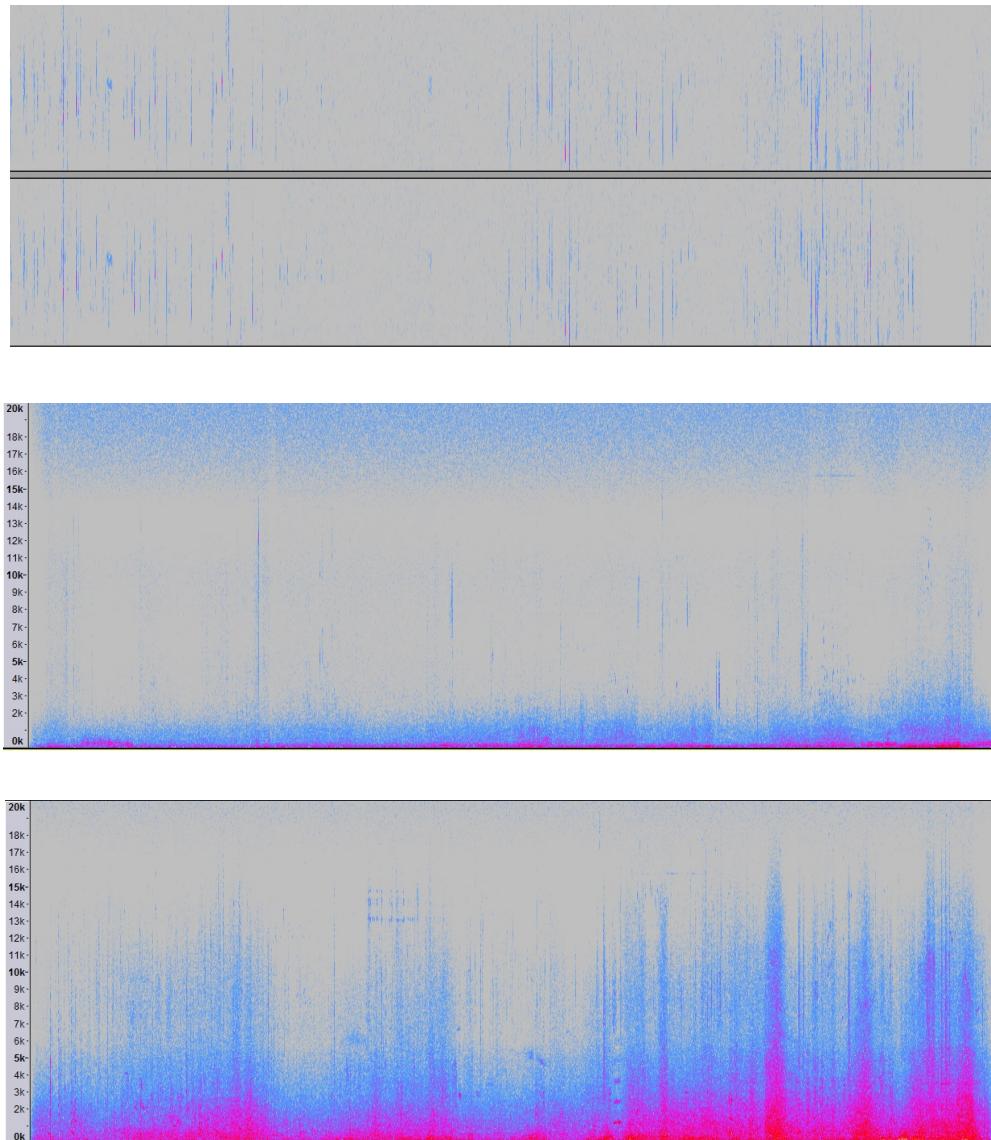


Figura 5. Análisis de espectro en frecuencia paisaje natural, natural con elemento humano y urbano respectivamente

Los datos obtenidos se exportan a un archivo .tex (vease figura 6). El tipo de unidad exportado es el dB (FS) (decibel Full Scale), es una razón logarítmica entre la intensidad grabada y una de referencia. Esta intensidad de referencia está ligada al equipo que se utilizó para la grabación y en el hardware del computador y es de 0 dB.

Frecuencia (Hz)	volumen (dB)
46.875000	-68.607185
93.750000	-81.181229
140.625000	-84.989937
187.500000	-87.080406
234.375000	-88.246559
281.250000	-89.171265
328.125000	-90.202095
375.000000	-91.142769
421.875000	-91.817871
468.750000	-92.551971
515.625000	-93.353531
562.500000	-93.954468
609.375000	-94.484520
656.250000	-94.908714
703.125000	-95.459763
750.000000	-95.844620
796.875000	-96.154289
843.750000	-96.407043
890.625000	-96.799026
937.500000	-97.111198
984.375000	-97.444557

Figura 6. Datos del espectrograma.

e) En tablas de Excel se registró la matriz de datos correspondientes al espectro de cada audio, de éstos únicamente se exporto a Matlab los vectores correspondientes a la intensidad del sonido (dB), se aplicó normalización y posteriormente cada nuevo vector se exporto a Excel para su subsecuente uso en el entrenamiento de la red neuronal artificial.

## 6. Diseño de la Red Perceptrón Multicapa con algoritmo supervisado Backpropagation tipo gradiente.

### 6.1 Principios básicos.

Las observaciones de la naturaleza y la de nosotros mismos son muy inspiradoras a la hora de crear técnicas y algoritmos aplicables en inteligencia Artificial. Son muchos autores que hacen comparaciones entre los procesadores que hacen funcionar nuestros ordenadores y el cerebro, De hecho llegan a hacer comparaciones entre el número transistores y el número de neuronas de nuestro cerebro, No hace muchos años aventuraban que cuando el número de transistores igualaran al número de neuronas del cerebro, podríamos crear ordenadores inteligentes como nosotros mismos.

Lo cierto es que no estamos tan lejos de construir procesadores con un número similar de transistores al número de neuronas del cerebro de algunos animales; sin embargo estamos muy lejos de poder imitar su cerebro y la complejidad de sus capacidades. De hecho, la velocidad a la que se activan los transistores de los procesadores actuales, es muy superior a la velocidad de activación de las neuronas humanas.

La respuesta de ¿por qué estamos muy lejos de emular dichas capacidades?, se halla en el diferente modelo de procesamiento en que opera un procesador, esto es, el procesador de una computadora opera de manera secuencial, mientras que el cerebro opera de manera paralela y concurrente, es por eso que el campo de procesamiento en paralelo es una de los campos de investigación donde se invierten más esfuerzos actualmente.

Las Redes Neuronales artificiales o RNAs son un intento de emular la forma de trabajar del cerebro humano, y aunque estamos lejos de alcanzar su misma capacidad son un instrumento de gran potencia para la gran cantidad de aplicaciones.

Una neurona animal está compuesta por un núcleo rodeada de millones de conexiones que la unen a otras neuronas. Estas conexiones se denominan sinápsis.

Las conexiones se realizan mediante dos tipos de neurotransmisores, las dendritas y los axones. Según la Neurociencia actual parece que una neurona funciona de manera similar a un transistor, es decir en un momento dado esta puede estar activa o no activa. En realidad no es así exactamente, pero podemos decir que se acerca mucho a este modelo

Las neuronas se activan en función de las dendritas. Las dendritas transportan señales eléctricas desde otras neuronas. Cuando la cantidad de dendritas alcanzan un umbral determinado, la neurona se activa y envía señales eléctricas a otras neuronas a través de los axones.

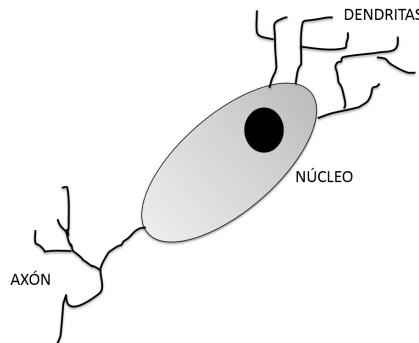


Figura 7. Representación de una Neurona

El Perceptrón es un modelo simple de una neurona que permite presentar los conceptos básicos de cómo opera la red aquí diseñada. Al igual que una neurona real, al Perceptron llegan señales de entrada y saldrá una señal que será la salida de una función de activación. Además a cada una de estas entradas se le asigna una valor llamado peso  $w$  (por la palabra weight en Inglés) que da un significado de la fuerza de conexión entre la señal de entrada y la neurona, también, por cada neurona existe un valor del umbral de disparo ( $b$ ) que está entre 0 y 1.

A esta configuración se le conoce como; red neuronal simple debido a que está compuesta de una capa, es decir un solo bloque de neuronas entre las entradas y la salida de la red.

La tarea del algoritmo es ajustar los pesos  $w$  y el valor de  $b$  a través de un proceso llamado entrenamiento. A este tipo de redes se les llama aprendizaje supervisado ya que durante el entrenamiento se va proveyendo ejemplos a la red y según la respuesta de la red comparada con la respuesta esperada, se ajustan los valores correspondientes. Dicho de otra manera para cada ejemplo habrá que indicar a la red neuronal cuál es el resultado que debería darse a la salida.

El uso de redes Perceptrón simples está restringido a resolver problemas linealmente separables, ya sea en  $\mathbb{R}^2$  o en  $\mathbb{R}^3$ , pero debido la forma gráfica de los datos obtenidos, necesitamos más capas en la red.

Sin entrar en detalles, se puede decir que si se organiza un conjunto de neuronas formando una red, se consiguen diferentes niveles de complejidad en las particiones del plano o de cualquier otra dimensión. A la red de retro-propagación es una red neuronal artificial que tienen la particularidad de que cada neurona está conectada a todas las neuronas de la capa anterior, a las neuronas de la primera capa se les llama neuronas de capa de entrada, al conjunto de neuronas de la última capa se les llama capa de salida y las neuronas que están en medio se les llama neuronas escondidas u ocultas [10].

Con redes de una capa podemos resolver problemas linealmente separables, con redes de una capa oculta se pueden resolver problemas que son separables mediante curvas y con redes de dos capas ocultas se pueden resolver problemas en los que se den separaciones arbitrarias, por lo que en principio, no tiene mucho sentido usar más de dos capas ocultas en la red, ya que como se ve más adelante se trabajará con el espacio de señales de audio que son separables mediante curvas suaves.

La función de activación que utilizan las redes perceptrón multicapa debe de ser una función derivable, esta función es la función sigmoidea descrita a continuación.

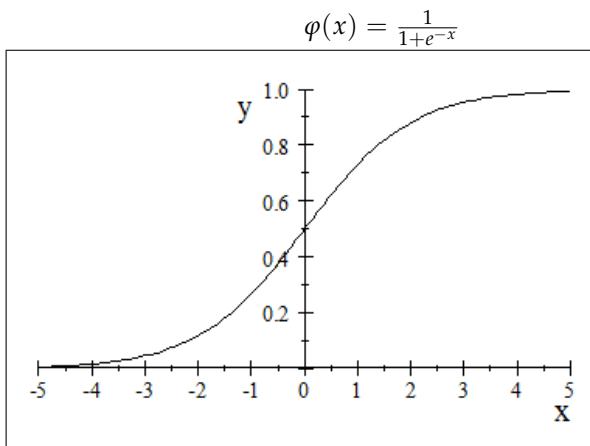


Figura 8. Función sigmoide

Se pueden utilizar otro tipo de funciones como la tangente hiperbólica pero en este caso sigue la sugerencia de [10] para usar la función sigmoidea.

### 6.2 Fases del algoritmo de retro-propagación.

El algoritmo de retro-propagación tiene tres fases principales:

1.-) La fase de inicialización de los parámetros  $W$  y  $b$ .

se tiene la siguiente matriz de pesos:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1m} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nm} \end{bmatrix}$$

donde:

$n$  : es el número de señales que llegan a una capa dada

$m$  : es el número de neuronas de la capa reciben a las señales ponderadas por  $w_{i,j}$

Los valores de  $w_{i,j}$  pueden ser inicializados por valores reales entre -1 y 1. El sub índice  $i$  indica el número se señal de donde proviene y  $j$  a que neurona se dirige.

Cabe mencionar que en el algoritmo aquí propuesto, la matriz  $W$  es una hipermatriz donde cada capa tiene asociada la relación de pesos entre una capa y la subsecuente.

Como a cada neurona se le tiene que sumar un bias, entonces se puede manejar una matriz de Bias que se enumera de arriba hacia abajo en determinada capa, como:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{nni} & b_{nnh} & b_{nn0} \end{bmatrix}$$

Donde cada columna es el arreglo de neuronas de una capa  $i$  y cada capa puede cambiar el número de neuronas. Los valores para inicializar a la matriz también pueden ser números aleatorios en un intervalo de 0 a 1.

2.-) Segunda fase, propagación hacia adelante.

Como se explicó a la red se representan valores de entrenamiento y los valores que se esperan a la salida para cada una de estas entradas, entonces se pueden representar tales entradas como vectores que poseen algún patrón que se desea identificar con un valor esperado o deseado.

Como se explicó a la red se representan valores de entrenamiento y los valores que se esperan a la salida para cada una de estas entradas, entonces se pueden representar tales entradas como vectores que poseen algún patrón que se desea identificar con un valor esperado o deseado.

Entonces la entrada a la red puede ser escrita mediante:

$$\text{Patrón de entrada} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]_i^T$$

El sub índice  $i$  indica que solo es un patrón de todos los que se le presentaran a la red.

Los valores esperados se escriben como:

$$\text{valor esperado} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{kn} & d_{k2} & \dots & d_{km} \end{bmatrix}$$

Donde cada renglón es un vector esperado para cada patrón de entrada

Se procede a calcular la la salida para cada neurona  $i$  de una capa  $k$ , como sigue:

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} \\ n_{21} \\ \vdots \\ n_{nn} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{nn} \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1m} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nm} \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}_k$$

Donde el sub índice  $k$  indica el número de capa en el que se desea calcular las salidas de las neuronas una vez que hayan pasado por su función de activación correspondiente, entonces: la salida de la capa  $k$  es:

$$O_k = \varphi(N_k)$$

Si el algoritmo se encuentra en la última capa se calcula el error dado por la resta del valor esperado menos el valor en la última capa.

$$e = O_{last} - D$$

La segunda fase es llamada de propagación hacia atrás en donde utiliza el error calculado en la primera fase y obtienen valores delta o gradientes para cada neurona desde la última capa hasta la primera, dada por las siguientes expresiones:

Para la última capa:

$$\delta_{last} = \varphi'(B + W_{last}O_{last})(1 - \varphi(B + W_{last}O_{last}))e$$

Para cualquier capa escondida:

$$\delta_k = \varphi'(O_k)(1 - \varphi(O_k))\delta_{k+1}$$

La tercer fase es la actualización de los valores de los pesos y las bias de las neuronas dadas por las siguientes expresiones:

$$w(n+1) = w(n) + \alpha w(n-1) + \eta \delta(n)x$$

donde:

$w(n+1)$ : Es la actualización de los pesos

$w(n)$ : Es el peso actual

$\alpha$ : Es el factor de aprendizaje

$\eta$ : Factor momento

$\delta(n)$ : Es el gradiente o delta en esa neurona  
 $x$ : Es la entrada correspondiente a la neurona

La actualización de los bias se realiza de la siguiente manera:

$$b(n+1) = b(n) + \alpha b(n-1) + \eta \delta(n)$$

El algoritmo toma todos los patrones y después hace la actualización de los pesos y las bias en función del error y las deltas. Entonces se realiza este proceso hasta que el error vaya convergiendo en un valor muy pequeño; a esta repetición se le conoce como época de entrenamiento.

Dependiendo del factor de entrenamiento, el momento, el número de capas, la forma de los patrones y el número de clases a reconocer son las épocas necesarias para que el error converja en más o menos tiempo.

### 6.1 Acondicionamiento de datos.

Los patrones de entrenamiento fueron obtenidos a través de Audacity, que es un software libre para edición profesional de audio. Tal y como se muestra en la siguiente figura *Audacity* analiza la señal de audio en el dominio de la frecuencia y da como amplitud los decibeles en cada frecuencia dentro del rango audible.

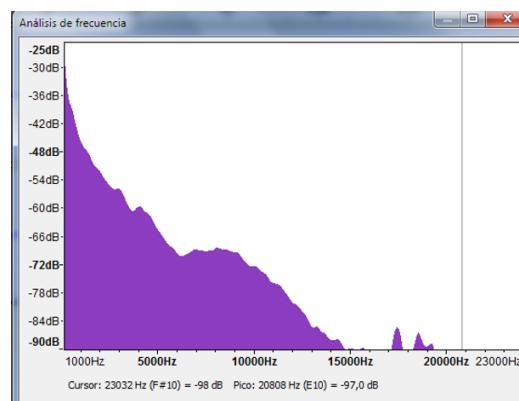


Figura 9. Espectro analizado por *Adacity*

Los datos fueron almacenados en hojas de cálculo para después ser tratados y acondicionados; este proceso tuvo que ser manual debido a que el software *Audacity* exporta los datos en archivos de formato *txt*.

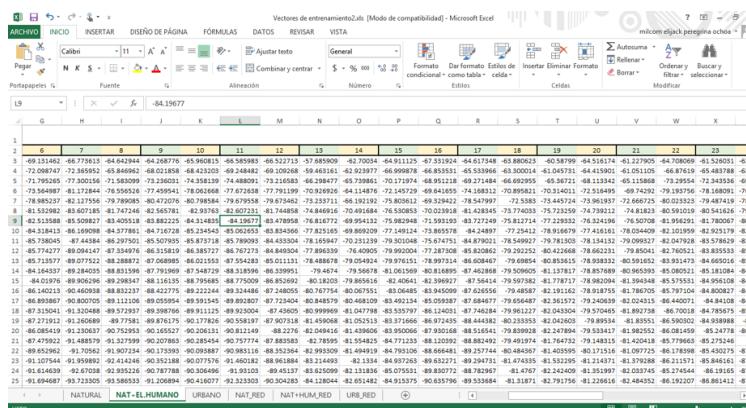


Figura 10. Organización de los datos en hojas de cálculo

## 6.2 Entrenamiento de la red neuronal.

Datos de entrenamiento.

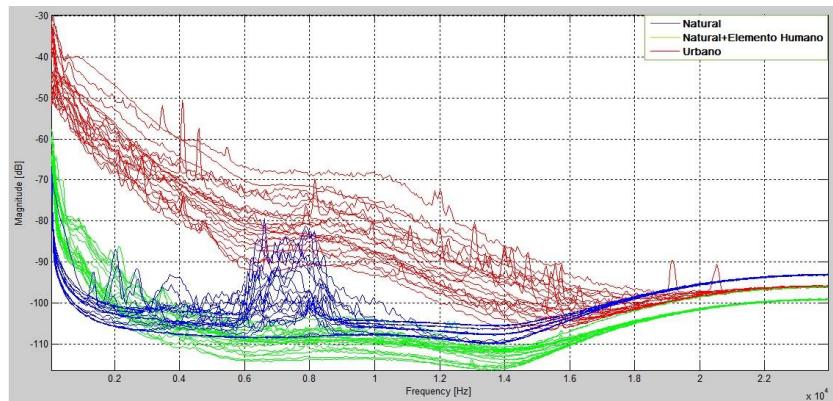


Figura 11. Grafica en Matlab de los datos de entrenamiento

Debido a que la red neuronal está diseñada para trabajar con funciones de activación que se encuentran en un intervalo de 0 a 1, los datos se normalizaron y se les aplicó una simple operación matemática, para invertir los datos tal y como se describe en la siguiente figura:

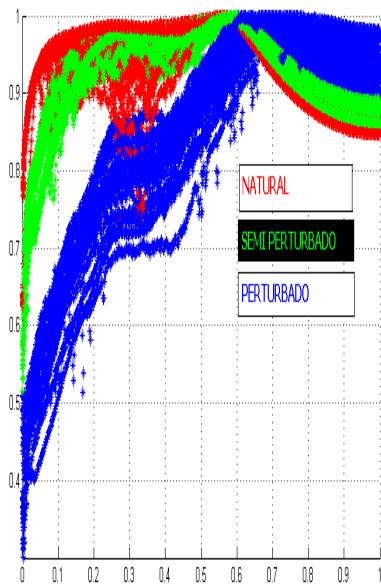


Figura 12. Patrones de entrenamiento

Después del entrenamiento, se obtuvo la hipermatriz matriz de pesos y la matriz de bias perteneciente a cada capa. Como se muestra en la figura siguiente, la matriz de pesos consta de tres capas de matrices de  $n \times n$ , donde  $n$  es el número de datos y la matriz de bias es una matriz de una capa de tamaño y igual al número de datos del patrón por tres columnas.

Se considera que después del entrenamiento, un rasgo característico es la forma geométrica de dichas matrices en el espacio, debido a que para diferentes patrones presentados en la misma red se generarán diferentes valores para los pesos y las bias correspondientes un modelo grafico de la red para discriminar diferentes patrones esta dado como se ve a continuación.

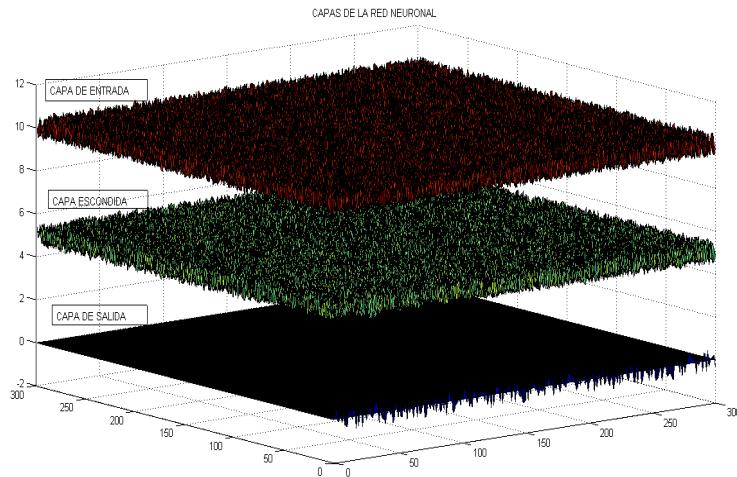


Figura 13. Hipermatriz de capas de la red neuronal

La matriz de Bias es la matriz que pondera la a cada neurona brindandole un grado de libertad para discriminar por el nivel de la entrada y así ser flexible a los cambios de nivel.

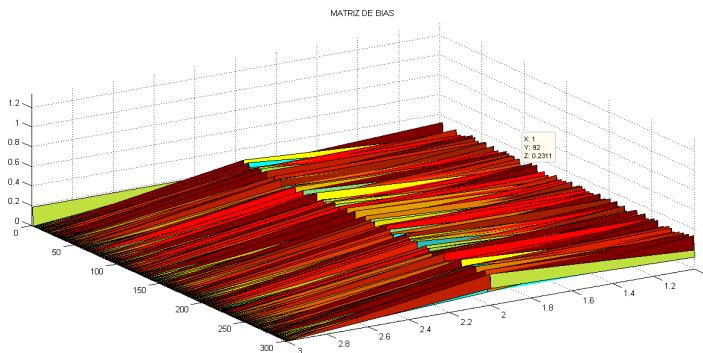


Figura 14. Matriz de Bias de la red neuronal

La matriz tiene una dimensión igual al número de datos de entrada para los renglones y 3 columnas que indican el número de capas.

Una vez que se tiene el entrenamiento de la red terminada se procede a ver el desempeño de la red presentándole sonidos diferentes a los datos de entrenamiento y verificar si dicho entrenamiento fue exitoso.Todo esto con el propósito de saber cuando detener el entrenamiento de la red, ya que podrían ser modificados algunos parámetros de tal manera que la salida de la red arrojara resultados diferenciables gráficamente, tal y como se muestra en las siguientes figuras, depende el número de épocas de entrenamiento:

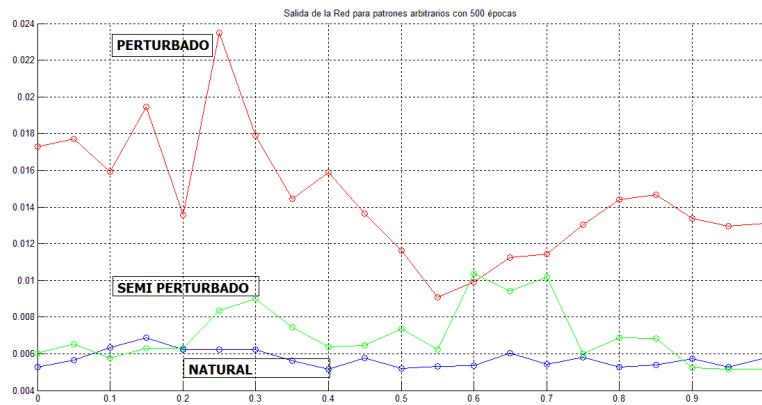


Figura 15. Resultado para 500 épocas

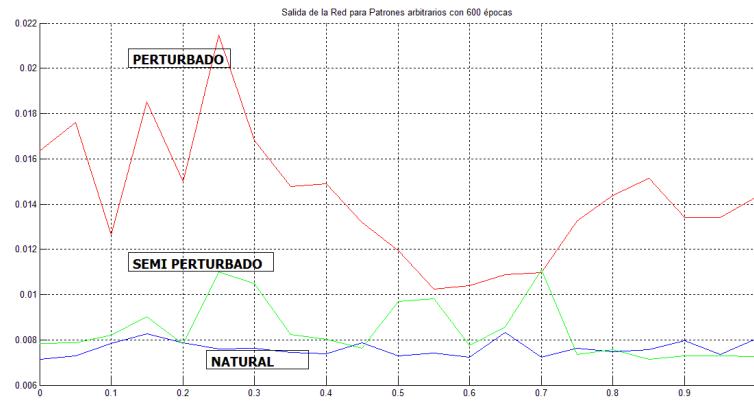


Figura 16. Resultado para 600 épocas

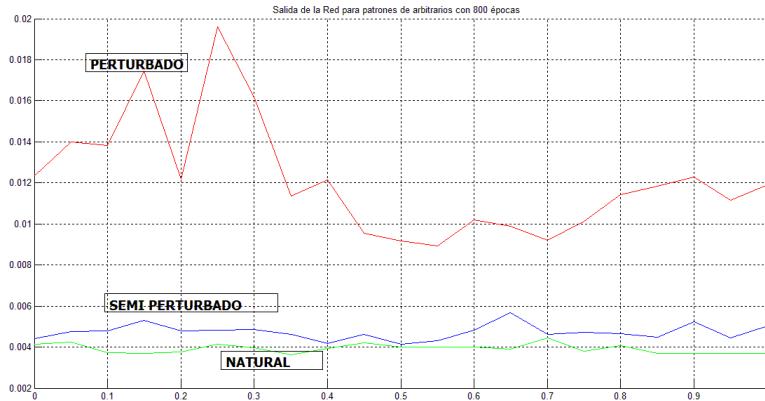


Figura 17. Resultado para 800 épocas

Como se puede observar, un sobre entrenamiento comienza generar que el entorno semiperturbado y el natural sean para la red indistintos, entonces de acuerdo a los experimentos realizados con la red, se escogieron valores para los cuales esta presenta una mejor discriminación de los entornos, más de 500 épocas y menos de 1000.

Una vez obtenida la discriminación, se lleva a cabo una correlación con una base de datos simplificada de la OMS, esta tabla posee la información de niveles de volumen para sonido en decibeles, y ejemplos de ambientes que se pueden parecer al presentado a la red.

	FUENTES DE SONIDO	dB
1	Umbral de audición	0
2	Susurro, respiración normal, pisadas suaves	10
3	Rumor de las hojas en el campo al aire libre	20
4	Murmullo, oleaje suave en la costa	30
5	Biblioteca, habitación en silencio, Despacho	40
6	Tráfico ligero, conversación normal	50
7	Oficina grande en horario de trabajo	60
8	Conversación en voz muy alta, gritaría, tráfico,intenso de ciudad	70
9	Timbre, camión pesado moviéndose	80
10	Aspiradora funcionando, maquinaria de una fábrica trabajando	90
11	Banda de música rock, Motocicleta	100
12	Claxon de un coche, explosión de petardos	110
13	Umbral del dolor	120
14	Martillo neumático (de aire)	130
15	Avión de reacción durante el despegue	150
16	Motor de un cohete espacial durante el despegue	180

Tabla 2. Rangos de sonido de la OMS [3]

Cabe mencionar que todos los datos que forman parte de la información que necesita este sistema clasificador fueron vaciados en hojas de cálculo para su fácil manejo computacional.

El resultado del conjunto de facultades de este sistema clasificador, es mostrar el espectro analizado a manera de comprobación del performance de la red neuronal, ejemplos asociados a los

intervalos de volumenes y como la red identifica el sonido analizado, todo esto en una aplicación de escritorio *standalone*.

En la siguiente figura se muestra la aplicación realizada en un formulario de la paquetería *Matlab*; como se observa, la interfaz cuenta con un comando que abre el explorador de archivos para escoger la hoja de cálculo, después se realiza la calificación del entorno y un ejemplo de qué provocaría dicho espectro según la OMS.

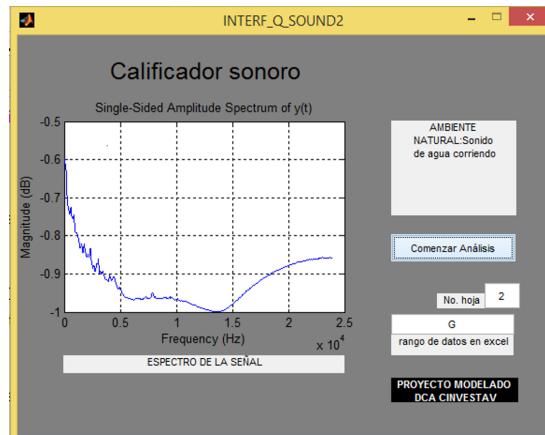


Figura 18. Aplicación standalone

### 6.3 Modo de operación de la aplicación.

Esta versión básica de la aplicación consta del manejo del software *Audacity*, una hoja de cálculo y la aplicación de escritorio diseñada en *Matlab*, como se observa en la figura el usuario necesita analizar con *Audacity* el sonido en formato wav, que previamente ha guardado en el ordenador, después de la sesión de grabación.

En el menu abrir se selecciona el archivo wav y una vez cargado, seguir los siguientes pasos:

Menu analizar, escoger formato espectro y dar clic en el comando exportar, la exportación de los datos del espectro es en formato txt, ese archivo se guardará en la misma carpeta donde se encuentra el archivo wav, una vez que se tienen los datos en txt se debe copiar manualmente los vectores y ponerlos en hojas de calculo para su fácil manejo en el procesamiento de la aplicación de escritorio.

Entonces la aplicación solicita al usuario identificar la columna en la cual estan almacenados los datos, y el número de hoja en el que se encuentran.

Como se aprecia en la figura 18 (*vease figura anterior*) el resultado es la calificación entre las clases *PERTURBADO*, *SEMI-PERTURBADO* y *NATURAL*, además se despliega una situación en la que es análogo el volumen analizado con respecto a la tabla de la OMS.

### Conclusiones.

El desempeño de la Red Neuronal no solo depende de los parámetros  $\alpha$ , y  $\eta$ , , si no también del número de épocas y la forma de los datos de entrenamiento, para esto fue necesario del uso de softwares adicionales, para que el uso de los datos en otro dominio generara información razonablemente.

La calidad de identificación depende en gran medida de los instrumentos utilizados, debido a que por ejemplo, si se quisiera llevar todo el procesamiento directamente a un dispositivo móvil, se estaría dependiendo de la calidad de grabación que posee, aspecto que en la actualidad no es tiene buena calidad al compararlo con grabadoras profesionales, entonces, se puede decir que hasta que se evolucione la tecnología en cuanto a la grabación de audio, será posible implementar la aplicación presentada en los dispositivos móviles.

En cuanto a paisajes sonoros se refiere los estudios sugieren en un momento que la contaminación acústica se ha convertido en un problema reconocido y ampliamente extendido, cualesquiera sean las acciones que se han tomado hasta ahora para mitigar este problema parecen no tener suficiente efecto. Hasta este punto, en el presente proyecto, se ha podido obtener una métrica de la calidad de los paisajes sonoros, lo que sigue sera desarrollar herramiental de mejoría del nivel de bienestar psicológico a través de la síntesis de paisajes acústicos de calidad.

### Referencias.

1. La Bauhaus fue una escuela de arte, arquitectura y diseño; fundada por el arquitecto, urbanista y diseñador de origen germano Walter Gropius en Weimar ( Alemania) en 1919.
2. Truax, Acoustic Communications, 2001, pp 11.
3. Moles, La imagen sonora del mundo circulante, fonografías y paisajes sonoros 1999, pp 229-243.
4. Schafer sostiene que en algunos casos estos sonidos podrían ser arquetípicos. Estar en el subconsciente del escucha ya que han sido percibidos durante milenios por sus antepasados.
5. Moles describe los elementos figura y fondo en oposición, como elementos constitutivos del paisaje sonoro. (Moles, La imagen sonora del mundo circulante, fonografías y paisajes sonoros 1999, pp 229-243)
6. Esto sería la relación entre el primero y segundo planos, es decir, entre las figuras y el fondo, descritos por Schafer.
7. Manuel Rocha Iturbide interpreta perspectiva como amplitud de fondo, es decir, en donde varias capas sónicas se pueden manifestar y distinguirse unas de otras.

<sup>8</sup>. Schafer, The tuning of the World, 1977, pp43.

**Bibliografía consultada.**

- [1] Atienza Ricardo, Ambientes sonoros urbanos : la identidad sonora. Modos de Permanencia y Variación de una configuración urbana, 2007, pág 2,3, 6,8 y 13.
- [2] José Luis CARLES / Cristina PALMESE (2004): Identidad sonora urbana. <http://www.eumus.edu.uy>
- [3] Robert MURRAY SCHAFER (1977) : The tuning of the world. Toronto. Ed. McClelland and Steward.
- [4] Hildegard Westerkamp. Brahaus y estudios sobre el paisaje sonoro - Explorando conexiones y diferencias: El surgimiento de los estudios sobre el paisaje sonoro.
- [5] Max Nehaus. Diseño sonoro.
- [6] Hans-Ulrich Werner. Tres instantáneas sobre el paisaje sonoro. Diseño acústico - Diseño sonoro.
- [7] Sol Rezza. Revista de pensamiento musical, núm. 004: El mundo es un paisaje sonoro (3 percepciones respecto al paisaje sonoro).
- [8] Barry Truax: Compositor canadiense especializado en las implementaciones en tiempo real de la síntesis granular, a menudo de sonidos grabados y paisajes sonoros. En 1986 desarrolló la primera implementación en tiempo real de la síntesis granular. Hizo la primera obra en síntesis granular hecha a base en sonidos pregrabados, Wings of Nike en 1987 y fue el primer compositor en explorar el área entre la síntesis granular sincrónica y asincrónica en Riverrun, en 1986. La técnica en tiempo real sigue o enfatiza en las corrientes auditivas, que junto con los paisajes sonoros hacen parte importante de su estética. Truax enseña música electroacústica, música por computador y comunicación acústica en la Universidad Simon Fraser en Canadá. Fue uno de los miembros fundadores junto con Raymond Murray Schaffer del World Soundscape Project.
- [9] Jordi Pigem. Escuchar las voces del mundo.
- [10] Fundamentals of Neural Networks, architectures, Algorithms and applications, Laurene Fausett , 1994, Prentice Hall.
- [11] <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/omscrit.htm>