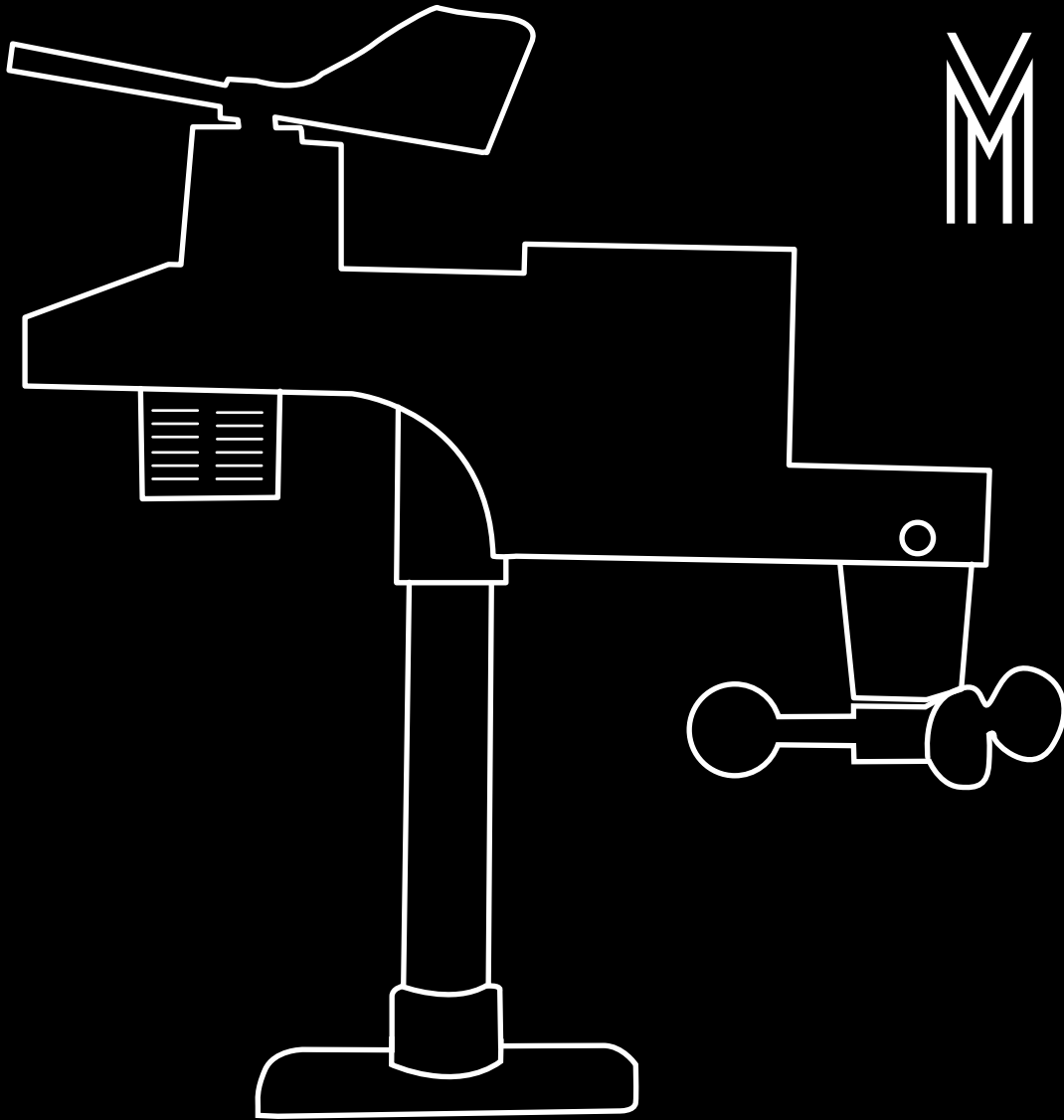


METEOSCOPI



Ivan Casanovas Rodríguez

Tutor: Xavier Lecha Rosquilla

Batxillerat | 2018-2019

daina·isard

METEOSCOPI

DESENVOLUPAMENT D'UNA ESTACIÓ
METEOROLÒGICA AUTOMÀTICA

*Als meus pares i avis,
que m'han ajudat i inspirat
durant tota la seva vida.*

*Al meu tutor,
que m'ha acompanyat
en el viatge d'aquest treball.*

*A l'Escola,
que ha col·laborat
per dur a terme aquest projecte.*

Title: Meteoscopi

Author: Ivan Casanovas Rodríguez (Daina-Isard, 2018)

Living in a world where our daily activities are always conditioned by the weather makes meteorology play an important role in society. The present science studies physical principles and meteorological variables and phenomena to correctly forecast future atmospheric conditions. So this research tries to be an introduction to the field of meteorology, analyzing its development and also revealing how technology has improved it in all facets. Aiming to prove this last fact, the main focus of the project is building an automatic weather station by the usage of tools as 3D printing, IoT and Arduino, managed to read the most significant meteorological variables and transmit them to Internet by a wireless connection.

Items: *Meteorology, Automatic Weather Station, 3D Printing, Arduino, IoT.*

TAULA DE CONTINGUTS

INTRODUCCIÓ	13		
L'ENIGMA DEL MÓN.....	13		
BENVINGUTS A UN LLARG VIATGE.....	14		
1. LA METEOROLOGIA	17		
1.1. L'ATMOSFERA.....	19		
1.1.1. Formació i evolució.....	20		
1.1.2. Composició química.....	25		
1.1.3. Estructura vertical.....	29		
1.1.4. Masses d'aire i fronts.....	32		
1.2. ASPECTES FONAMENTALS.....	34		
1.2.1. Variables meteorològiques.....	34		
1.2.2. Instruments meteorològics.....	38		
1.2.3. Estacions meteorològiques.....	41		
1.2.4. Tipus de meteorologia.....	45		
1.2.5. Ser meteoròleg.....	46		
<i>Entrevistant a l'Eloi Cordomí</i>	47		
1.3. LA METEOROLOGIA EN EL SEU CONTEXT HISTÒRIC.....	51		
1.3.1. Primers antecedents.....	51		
1.3.2. Meteorologia aristotèlica.....	54		
1.3.3. La re(e)volució científica.....	55		
1.4. DESXIFRANT EL MÓN DIGITAL: METEOROLOGIA ACTUAL.....	58		
1.4.1. El pronòstic del temps.....	58		
1.4.2. Estacions meteorològiques automàtiques.....	60		
1.4.3. Entrevista a l'Eliseu Vilaclara.....	61		
2. PROJECTE METEOSCOPI	65		
2.1. INTRODUCCIÓ.....	66		
2.1.1. Idea i objectius.....	66		
2.1.2. Entorns de treball.....	67		
2.1.3. Impressió 3D.....	69		
2.2. L'ESTACIÓ I ELS SEUS COMPONENTS.....	71		
2.2.1. L'anemòmetre.....	73		
2.2.2. El pluviòmetre.....	77		
2.2.3. El penell.....	80		
2.2.4. El baròmetre i el sensor de temperatura i humitat.....	83		
2.3. TRANSMISSIÓ DE LES DADES A INTERNET.....	85		
2.3.1. Internet de les coses (<i>IoT</i>).....	85		

2.4. MAKING-OF.....87

CONCLUSIONS **93**

TAULA DE FIGURES **95**

FONTS DOCUMENTALS **98**

INTRODUCCIÓ

L'ENIGMA DEL MÓN

“El futur és tot allò que passarà.”

L'ésser humà és peculiar. I és que per ell mateix adopta una actitud natural cap al coneixement, una voluntat pròpia per construir un discurs que el porti a la saviesa. De fet, la història ens planteja una humanitat que obre les fronteres del pensament i supera tots els obstacles que se li presenten; tots excepte un, tots excepte el futur. Què es pot fer davant d'aquesta problemàtica, però?

Està clar que una primera forma de mirar al futur és retrocedir al passat, és a dir, basar-se en l'experiència. Imagineu una situació tan simple com la de sostenir un bolígraf a una certa alçada i deixar-lo anar; què passarà? La resposta sembla ser clara: el bolígraf caurà. I, per tant, en

circumstàncies semblants, el bolígraf també caurà. Tanmateix, per arribar a aquesta conclusió s'han extret una sèrie de suposicions impossibles de conèixer i alhora totalment requerides: en primer lloc, la repetició explica necessàriament la veritat sobre les coses; en segon lloc, el passat equival al futur i, consegüentment, el curs de la naturalesa sempre és uniformement el mateix; i finalment, no hi ha res en la causa que permeti deduir l'efecte. Així doncs, per moltes vegades que el bolígraf caigui des d'una certa alçada en deixar-lo anar, mai se sabrà si el pròxim cop caurà o no. En aquest sentit, el futur és indedueïble.

Una segona forma d'observar el futur és avançar-se a ell i deduir-lo mitjançant raonaments purament lògics. Imagineu estar en una partida d'escacs i, trobant-se un jugador en posició de mig joc, sap

que si fa aquella jugada determinada acabarà guanyant la partida. Com ho pot saber?



Figura 1. Escacs

Doncs bé, el jugador no és res més que un estratega: busca un objectiu llunyà i treballa des d'ell retrocedint fins al present. Per tant, si els seus càlculs són correctes, farà el millor en cada situació, perquè aquesta decisió està basada en el que vulgui que succeeixi. Així, en aquest altre sentit el futur és totalment predible. La pregunta és, però, si realment l'ésser humà és un bon

estratega.

Finalment, el tercer futur és el que rebut als altres dos i li dona al món aquella guspira enigmàtica: és el futur caòtic. Així doncs, m'agradaria fer referència al matemàtic anglès i, curiosament, meteoròleg, Edward Lorentz per parlar de la teoria del caos i l'*efecte papallona*.

Edward Lorentz ens planteja una papallona per il·lustrar la seva teoria. Diu textualment que “el dèbil cop d’una papallona pot ser la causa d’un huracà a milers de quilòmetres de distància.” Molt exagerat, oi? Emperò, observeu la caiguda d’un ou des del cim d’una piràmide o fixeu-vos en el moviment d’un pèndol doble. És així com, en aquest últim sentit, no hi ha futur predible, perquè cada situació és única i el mínim detall de variació pot provocar circumstàncies finals totalment diferents.

Aquest plantejament ens causa una

sensació enigmàtica, d’admiració, de misteri. I és precisament per aquesta sensació que seguim estudiant i investigant, pel no saber i voler saber, perquè l’èsser humà té en si mateix una actitud natural cap al coneixement.

BENVINGUTS A UN LLARG VIATGE

I per què començar parlant de futur, us preguntareu.

Doncs bé, la veritat és que alguna cosa em rondava pel cap dient-me que la meva carta de presentació davant vosaltres havia de ser d’aquesta manera, i no sé si és per la curiositat i l’admiració personal que tinc pel futur o per la relació directe que aquest té amb la meteorologia. En tot cas, el més probable és que sigui pel següent motiu.

De petit, recordo veure l’espai del temps en el telenotícies mentre esmorzava i preguntar-me com aquells homes de la televisió podien saber quina situació meteorològica ens trobariem el dia de

demà. Per a mi, era com un miracle que es feia realitat cada cop que encertaven i la realitat és que jo volia realitzar un d’aquells miracles, volia ser un d’aquells homes. Suposo que és en aquell moment on va començar la meva petita afició per la meteorologia i, d’alguna manera, explicant les diferents formes de preveure el futur he volgut saber, o posar en dubte, els seus mètodes.

Al llarg del temps, aquesta petita afició ha anat creixent exponencialment fins al punt de voler sentir-me partícip de la meteorologia, de voler ser un *mini* meteoròleg. No sé si com a repte o excusa, i gràcies al treball de recerca, l’objectiu i el motor principal d’aquest treball és desenvolupar *Meteoscopi*, una estació meteorològica automàtica capaç de registrar una sèrie de variables electrònicament i transmetre-les a Internet. Tot això, amb la voluntat que sigui un projecte innovador que obri les portes a possibles usos de cara a un futur no molt llunyà.

LA METEOROLOGIA

Benvinguts a un llarg viatge

Però no tot és pràctic. I és que tota aplicació científicotecnològica ha d'estar constituïda prèviament per un estudi multidisciplinari del camp que es treballa.

Així, el desenvolupament del treball se segrega en dues parts. D'una banda, hi ha un marc teòric que no només es fonamenta en entendre personalment el funcionament de la meteorologia aplicada, sinó que incorpora també una breu explicació de les regles que regeixen l'atmosfera, un context històric i unes agregacions de la meteorologia actual. I d'altra banda, trobem un marc pràctic que consisteix en construir *Meteoscopi* des de zero, tot explicant els instruments emprats, el seu disseny i també el seu funcionament.

En definitiva, considero el treball de recerca dirigit per dos vectors directors: en primer lloc, es tracta d'un apropament d'interès personal al món de la meteorologia; i en segon lloc, esdevé una

voluntat material que porta latent durant molt de temps.

Què me'n dieu, emprenem el viatge junts?



1. LA METEOROLOGIA

El món de la **meteorologia** s'encarrega d'estudiar l'estat del temps, el medi ambient atmosfèric i els fenòmens meteorològics, mitjançant el coneixement d'una sèrie de magnituds físiques anomenades **variables meteorològiques**, com ara la temperatura o la pressió atmosfèrica. Però no només això, sinó que també s'ocupa d'estudiar les causes per les quals s'originen els fenòmens meteorològics i de desenvolupar lleis fonamentals que expliquen el funcionament i les propietats de l'atmosfera.

A més a més, la meteorologia inclou el camp de la climatologia, de manera que també estudia els fenòmens que succeeixen durant un llarg període en un lloc determinat, els estats atmosfèrics habituals i quins efectes provoca la situació climàtica estudiada en el territori.

Aquests sabers tenen com a finalitat un mateix propòsit, i és que l'objectiu principal de la

meteorologia és **pronosticar el comportament atmosfèric** a curt termini en benefici de la humanitat. D'alguna manera, el temps atmosfèric condiciona la vida diària i això provoca una dependència meteorològica en les nostres activitats, pel que no es fa estrany que la voluntat de predir el temps sempre hagi estat present en els éssers humans.

Així doncs, la ciència meteorològica oscil·la al voltant de dos vectors directors interconnectats:

1. La comprensió dels fenòmens meteorològics i el funcionament del món atmosfèric.
2. L'ús de la nostra comprensió per a predir el comportament atmosfèric i ajudar indirectament a les vides personals de la humanitat.

D'una banda, com a *ciència física bàsica*, la meteorologia intenta construir un discurs lògic i ordenat que permeti interpretar el món atmosfèric com a regularitats matemàtiques, és a dir, la

comprensió de l'atmosfera només es pot entendre a partir del model de veritat matemàtica.

I d'altra banda, com a *ciència física aplicada*, la meteorologia es tracta d'una ciència observacional, així que la seva comprensió depèn directament dels sistemes de mesura i d'observació. La meteorologia fa ús d'estacions i instruments meteorològics per a enregistrar dades i realitzar una anàlisi de les condicions atmosfèriques passades. D'aquesta manera, aquests diagnòstics serveixen per a investigar els processos pròxims de l'atmosfera i permeten als meteoròlegs desenvolupar una simulació d'unes condicions atmosfèriques futures, majoritàriament a partir de models matemàtics.

EL TEMPS ATMOSFÈRIC és...

L'estat de l'atmosfera en un lloc i temps determinat, donat per una combinació de moviments massics i de diferents propietats fisicoquímiques.

1.1. L'ATMOSFERA

Benvinguts a l'espai atmosfèric, al que podríem anomenar **l'escut protector del planeta blau** i el responsable de la vida a la superfície de la Terra. Una atmosfera és una **mescla de gasos** que forma una capa al voltant d'un planeta o un cos celeste, gràcies a l'atracció que provoca el camp gravitatori del globus.

L'atmosfera terrestre ha patit una contínua evolució al llarg de la història planetària i actualment podem dir que juga un dels papers més importants per a la vida. Però, per quines raons exactament?

Doncs bé, la presència dels gasos són els que permeten el desenvolupament de la vida tal i com la coneixem: d'una banda, l'oxigen i el diòxid de carboni permeten realitzar les funcions vitals dels animals i de les plantes, és a dir, el procés conegut com a **fotosíntesi**, i per tant l'atmosfera

ens proporciona l'aire que respirem. I d'altra banda, aquest diòxid de carboni, el vapor d'aigua i altres gasos minoritaris com l'ozó permeten mantenir un rang de temperatures en la superfície favorables per a la vida, ja que són els gasos que permeten **l'efecte hivernacle**. Tot i que deixen entrar la radiació solar a la Terra, posteriorment l'absorbeixen parcialment reduint així la pèrdua d'energia a l'espai i el refredament del planeta. Així que, en realitat, s'ha de desmentir la mala reputació actual de l'efecte hivernacle: **és el regulador de la temperatura terrestre!** I és que a més de regular la temperatura, també regula els processos termodinàmics, químics i biològics presents en l'evolució.

Ara bé, l'atmosfera no sempre s'ha presentat d'aquesta manera. Com es va crear l'atmosfera terrestre i quina ha estat la seva evolució?

1.1.1. FORMACIÓ I EVOLUCIÓ

Els orígens de l'atmosfera es remunten a la formació dels planetes a partir de la **nebulosa solar** fa 4500 milions d'anys, però, a l'igual que la Terra, l'atmosfera no sempre ha tingut les mateixes característiques. De fet, l'atmosfera actual és producte de l'evolució del planeta durant milions d'anys en un procés que podem dividir en quatre etapes ben diferenciades. Tot i que existeixen diverses teories sobre la formació i l'evolució de l'atmosfera, destaquen primordialment la **teoria volcànica** i de **desgasificació**.



Figura 4. Representació del vulcanisme

Durant els primers 500 milions d'anys de vida del planeta, la Terra es caracteritzava per ser un planeta amb elevades temperatures a causa de la radiació solar, la desintegració dels cossos radioactius i la conversió en calor de l'energia que va formar el planeta. Hi va haver una activitat constant d'erupcions que va provocar l'expulsió de diversos núvols de gasos des del nucli terrestre per a què aquest es refredés, i que van acabar formant una primera atmosfera poc densa. Així doncs, es tractava d'una **atmosfera primitiva** que estava formada principalment de gasos molt lleugers com l'hidrogen i l'heli, amb presència molt minoritària de vapor d'aigua, entre d'altres.

Les condicions planetàries no eren les adequades per a retenir aquesta capa de gasos durant molt de temps: les altes temperatures facilitaven l'escapament de gasos lleugers, la poca gravetat feia que la Terra no pogués retenir molècules en l'ambient i la magnetosfera no s'havia desenvolu-

pat de manera que el vent solar dissipava els gasos molt fàcilment. Tot aquest cúmul de circumstàncies van acabar fent que aquesta primera atmosfera desaparegués a l'espai interestel·lar.

Poc a poc la Terra va acabar formant la capa de superfície sòlida que coneixem com a escorça terrestre; una escorça, però, molt diferent a la d'avui dia, doncs era geològicament molt activa i estava plena de volcans. Les erupcions volcàniques continuaven alliberant nous gasos d'efecte hivernacle i això va proporcionar la formació d'una **segona atmosfera reductora**, molt reactiva i anaeròbica, composta segurament de vapor d'aigua, diòxid i monòxid de carboni, metà, amoni i nitrogen.

Fa uns 4 mil milions d'anys, amb el refredament gradual del planeta fins a menys de 100 °C, els gasos que es van anar acumulant al voltant del globus terrestre van desenvolupar la **hidrosfera**:

l'abundant vapor d'aigua existent i els gasos àcids es van condensar, obrint la porta a un cicle de pluges continu durant milers d'anys. Amb aquest gran diluvi, van aparèixer grans oceans, mars i rius que acabaren facilitant la **formació d'àcids**, la **dissolució de gasos** i la reacció d'aquests tant amb la pròpia aigua com amb la superfície terrestre (**sedimentació**). Així doncs, per exemple, el diòxid de carboni va precipitar en l'aigua formant carbonats —sals minerals fonamentals per a la vida i l'aigua salada— o l'ió amoni va reaccionar amb l'aigua formant l'amoníac.

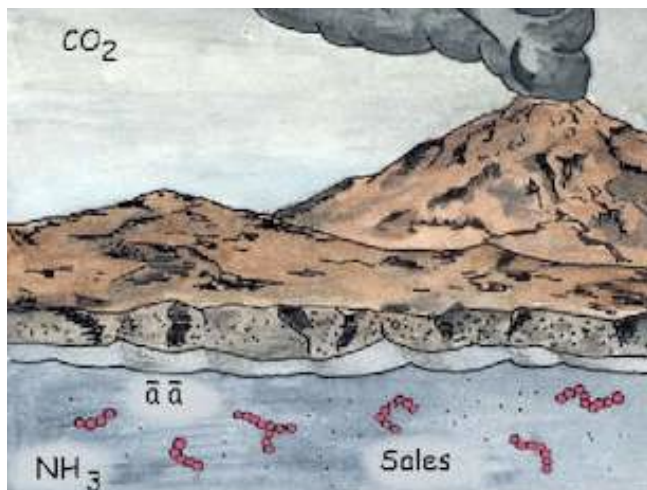


Figura 5. Les reaccions a l'hidrosfera

Diversos han estat els estudis realitzats per a conèixer en quines condicions planetàries es va originar la vida i com va estar possible, i diverses han estat les teories plantejades. Actualment, però, s'estipulen tres requisits fonamentals per a l'evolució química de la vida: **aigua en estat líquid**, una **font d'energia** i una **atmosfera aeròbica** amb presència abundant d'hidrogen i oxigen. Fins al moment vist, l'evolució de la Terra i, consegüentment, de l'atmosfera s'anaven apropant als medis idonis per a originar mínimament la vida; emperò, la **falta d'oxigen lliure** va impossibilitar l'origen de la vida durant milions d'anys.

Fa aproximadament 3500 milions d'anys, l'oxigen que hi havia es va formar per **fotoïlisi**¹; la radiació solar i l'energia ultraviolada descomposava les molècules de diòxid de carboni i de vapor d'aigua en petites quantitats d'hidrogen i oxigen.

L'hidrogen resultant s'anava a l'espai per ser massa lleuger, mentre que l'oxigen, per la seva gran capacitat de combinar-se amb altres elements, va acabar reaccionant amb el ferro que contenen les roques terrestres. Primerament, va reaccionar amb el ferro de les roques sedimentàries oceàniques (BIF²), formant diferents **òxids de ferro**, normalment magnetita (Fe_3O_4) i hematita (Fe_2O_3). Quan les formacions de ferro bandat estaven totalment oxidades i, per tant, saturades, l'oxigen es va començar a acumular en un altre tipus de roques anomenades "**Red Beds**", a partir de l'oxidació de minerals reduïts com la pirita (FeS_2). El producte d'aquestes reaccions era l'hematita (Fe_2O_3), però, igual que les anteriors roques, van acabar saturades d'oxigen uns 2500 milions d'anys enrere. La presència d'oxigen en aquestes formacions rocoses posa de manifest que l'atmosfera havia estat

¹descomposició química que, durant el procés de fotosíntesi, pateix una molècula d'aigua degut a l'acció dels raigs ultraviolada.

²anomenades *Banded Iron Formations*, són un tipus de roca formada per minerals de ferro.

anaeròbica, encara que també havia començat a conservar oxigen lliure en petites proporcions.

Tanmateix, la formació de l'oxigen no va provenir ni del vulcanisme ni d'aquests processos geològics, sinó que va ser la pròpia vida la qual el va proporcionar. Gràcies a l'energia solar i la formació de la hidrosfera i l'atmosfera, hi va ver

una època en la qual es van reunir unes condicions planetàries quasi perfectes amb les quals es van produir en els mars i oceans tota una sèrie de **complexos desenvolupaments bioquímics** durant més de 1500 milions d'anys, com bé la síntesi de molècules orgàniques o la formació de proteïnes i aminoàcids. Producte d'aquests processos va ser la

primera forma de vida marina: uns **cianobacteris**, microorganismes heteròtrofs, unicel·lulars i anaeròbics, capaços d'obtenir energia a partir de l'absorció de molècules orgàniques del seu entorn.

A mida que el temps passava, aquests organismes aquàtics van evolucionar i van arribar a ser plantes (algues en concret) capaces de realitzar perfectament la fotosíntesi i, per tant, de produir oxigen lliure. Així doncs, passen a ser éssers aeròbics i fotoautòtrofs que aprofiten l'energia solar per a dissociar les molècules d'aigua i diòxid de carboni, i així fabricar altres compostos orgànics i biomolècules. Dit d'una altra manera, absorben diòxid de carboni de l'atmosfera, creant un dèficit d'aquest en l'aire, i alliberaven oxigen lliure posteriorment. Tot aquest procés metabòlic s'anomena **fotosíntesi** i el seu paper ha estat crucial com a causa de la generació d'oxigen atmosfèric i de l'absorció del diòxid de carboni, alhora que ha estat l'element primordial per a l'existència de

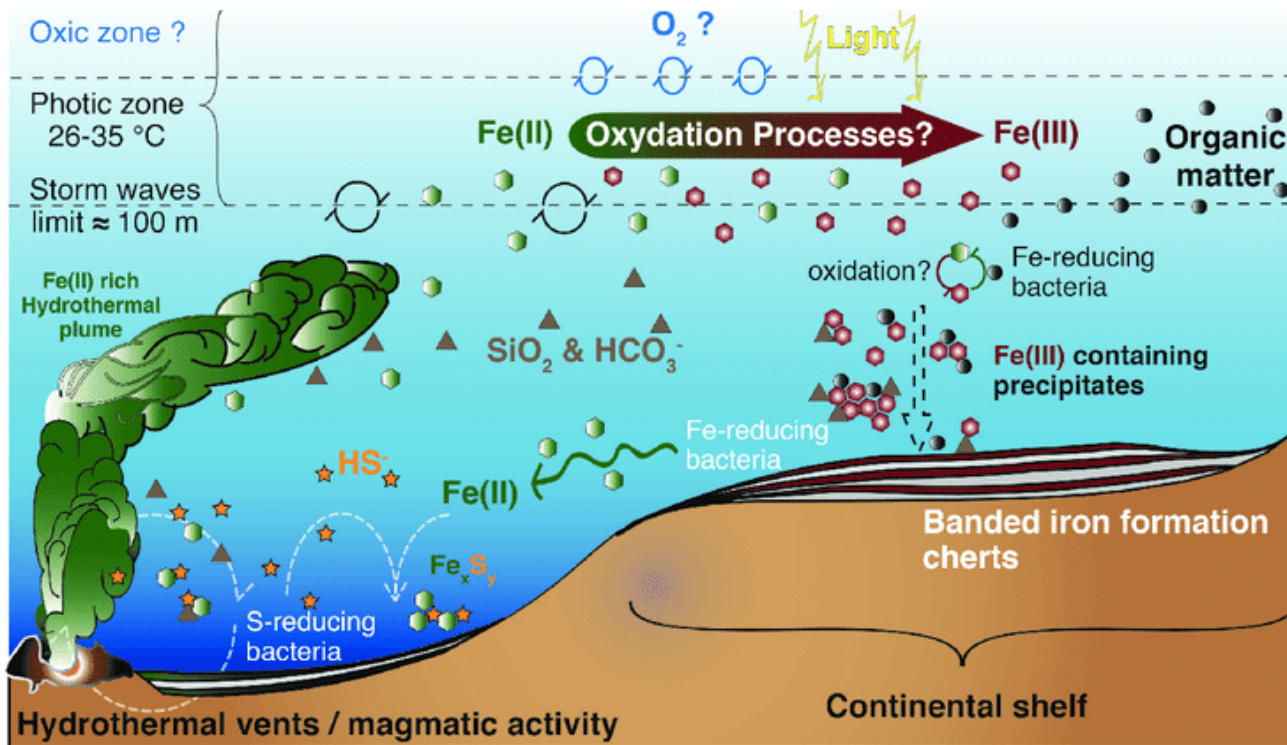


Figura 6. Les reaccions del ferro a l'hidrosfera

la vida i per al desenvolupament de l'atmosfera actual.

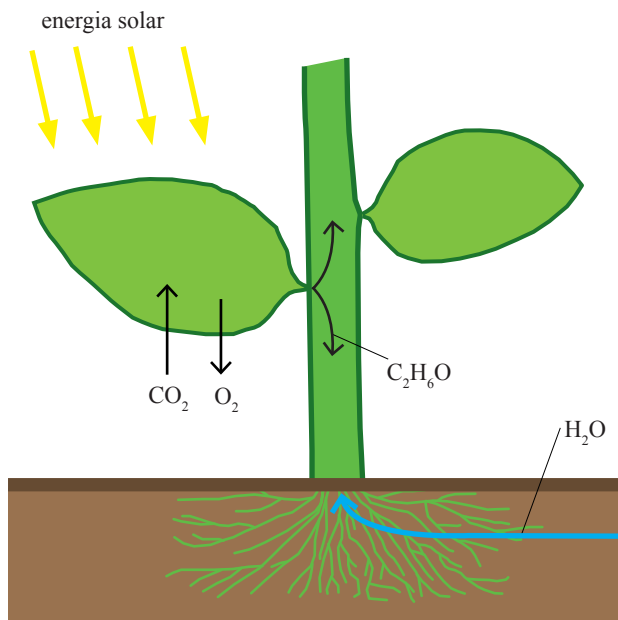
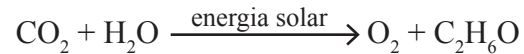


Figura 7. Procés de la fotosíntesi

A més, hi va haver un increment significatiu també del nitrogen (N_2). El metabolisme de les plantes marines realitza un procés anomenat **nitrificació** amb el qual feien reaccionar l'amoniac o l'amoni amb l'oxigen per a generar energia i sintetitzar

proteïnes. Com a producte d'aquesta reacció, es formaven els nitrits, tòxics per a les plantes i per tant expulsats cap a l'atmosfera.

L'augment exponencial de l'oxigen a l'atmosfera

va produir poc després una sèrie de conseqüències que van afectar directament a l'evolució dels éssers vius, de l'atmosfera i del planeta en general.

D'una banda, per la disminució sobtada del diòxid de carboni, la temperatura del planeta va disminuir i els organismes primitius anaeròbics van morir.

Tot i això, altres microorganismes es van afavorir de la presència d'oxigen i van obtenir encara més energia, com les anomenades Espècies Reactives de l'Oxigen (ROS^3), que van generar molècules tòxiques amb aquesta energia.

D'altra banda, algunes de les molècules d'oxigen concentrades a l'atmosfera, per acció de la radiació ultraviolada, van separar-se en àtoms individuals i es van ajuntar amb les molècules d'oxigen que hi quedaven a

l'atmosfera. El resultat d'aquesta combinació va ser una capa en la part superior de l'atmosfera de **molècules d'ozó (O_3)**, capaces de retenir l'energia ultraviolada i protegir així els éssers vius davant d'aquesta radiació fora de l'aigua; d'aquesta manera, la capa d'ozó va permetre als éssers vius donar un gran pas: abandonar l'aigua i colonitzar la superfície terrestre.

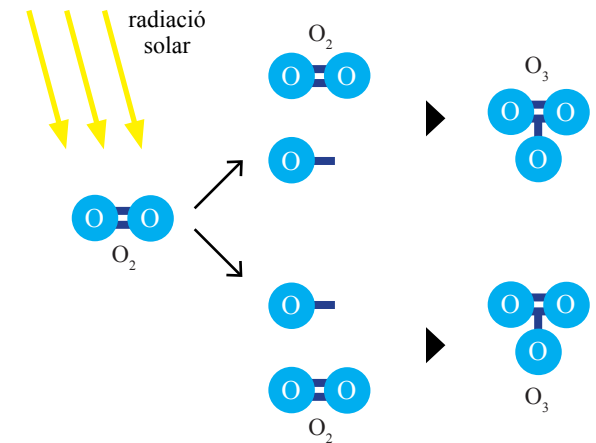


Figura 8. Formació d'ozó a l'atmosfera

Ara bé, en el cas de que la Terra no disposés d'ozó a l'atmosfera, els raigs ultraviolats serien un

³(Reactive Oxygen Species) són molècules petites i inestables, compostes majoritàriament d'ions d'oxigen, que reaccionen molt fàcilment amb altres molècules danyant l'ADN.

problema per a la vida al medi terrestre, doncs les cèl·lules i l'ADN serien danyats per la radiació, i, per tant, els éssers vius no podrien haver sortit del medi aquós, que filtra parcialment la radiació i per això no suposa cap problema per a la vida. No obstant, això no va succeir, ja que els éssers vius, un cop van trepitjar terra ferma, no van fer més que evolucionar i acondicionar-se a la natura des de llavors: els petits organismes primitius s'han erigit avui dia en éssers humans i aquests esdeveniments són explicats pel científic Charles Darwin amb la seva **teoria de l'evolució de les espècies**.

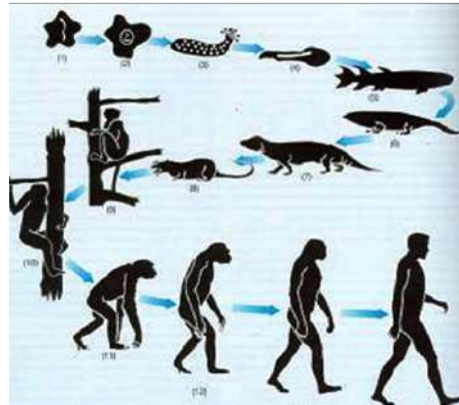


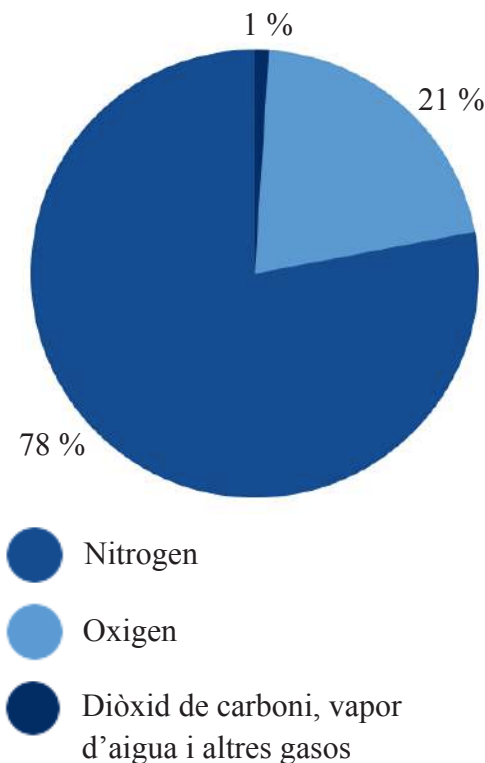
Figura 9. Evolució de les espècies

En canvi, des de la creació de la capa d'ozó no hi ha hagut cap gran partida d'inflexió o d'evolució en l'atmosfera, de manera que durant els posteriors milions d'anys la capa que envolta la Terra simplement va seguir interaccionant

amb el medi fins arribar a l'**atmosfera actual**, sense patir grans canvis en la seva composició, donant lloc a condicions molt beneficiàries per a la vida i permetent que aquesta seguís la seva evolució. És precisament en els nostres temps quan l'atmosfera està patint més canvis radicals i perjudicials per a la vida a causa del gran impacte que està deixant la humanitat sobre el planeta. De fet, si la **contaminació** no va a menys en les pròximes dècades, possiblement aquesta atmosfera es veurà completament alterada i conseqüentment la vida no sigui possible.

1.1.2. COMPOSICIÓ QUÍMICA

Aristòtil deia que hi havia quatre elements fonamentals en el planeta que no es podien subdividir, i un d'ells era l'**aire**. Avui dia, moltes vegades es segueix parlant de l'aire com si es tractés d'un sol gas, però la realitat és que és una mescla de gasos, formada principalment per nitrogen, oxigen, argó, vapor d'aigua i diòxid de carboni, que en conjunt formen l'atmosfera. La proporció exacte dels gasos a l'atmosfera és la següent:



Gasos	% volum	% massa
Nitrogen	78,08	75,52
Oxigen	20,95	23,1
Vapor d'aigua	0-4	0-0,24
Argó	0,934	1,28
Diòxid de carboni	0,038	$4,55 \times 10^{-2}$
Neó	$1,8 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^{-3}$
Heli	$5,24 \times 10^{-4}$	$7,24 \times 10^{-5}$
Metà	$1-1,5 \times 10^{-4}$	$6,5-9,8 \times 10^{-3}$
Criptó	$1,1 \times 10^{-4}$	$2,89 \times 10^{-4}$
Òxid nítrès	5×10^{-5}	$9,9 \times 10^{-5}$
Hidrogen	5×10^{-5}	$3,48 \times 10^{-6}$
Xenó	8×10^{-6}	$3,63 \times 10^{-5}$
Ozó	1×10^{-6}	$1,66 \times 10^{-6}$

També podem dir que l'aire està format per **aire sec** i **vapor d'aigua**, sent l'aire sec tots els gasos presentats en excepció del vapor d'aigua. Aquesta definició és útil perquè el vapor d'aigua pot fer canviar tot l'estat general de l'atmosfera i, a vegades, interessa estudiar-la sense ell. És llavors quan parlarem d'aire sec o atmosfera seca.

Els valors de composició atmosfèrica són els idonis per al desenvolupament de la vida terrestre i no es troben en aquesta concentració per atzar. En cas de produir-se un canvi important en el volum d'algun d'aquests gasos, segurament la vida ja no seria possible. Per exemple, la quantitat d'oxigen a l'atmosfera ha de ser del 20% aproximadament, ja que, en cas de tenir menys del 15 %, no es podrien produir les combustions i, en cas de tenir més d'un 25%, podrien haver-hi reaccions espontàniament.

Figura 11. Concentració en volum dels gasos a l'atmosfera

L'estat de l'aire va canviant segons condicions variables com la temperatura o les impureses a les quals se sotmet, i per això aquesta composició no és sempre constant. De fet, la concentració d'aquests gasos sol ser homogènia fins a un 80 o 100 quilòmetres d'alçada, a excepció del vapor d'aigua, però una variació més àmplia d'alçada implica també una variació petita en la composició de l'atmosfera.

Els gasos de l'atmosfera poden ser classificats segons moltes de les seves característiques i una de les primeres classificacions que es poden fer és segons la seva concentració. Distingim dos grans grups: els gasos permanents i els gasos variables.

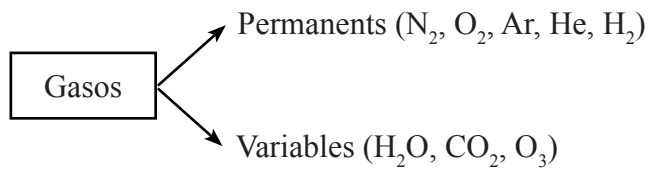


Figura 12. Classificació dels gasos

D'una banda, els **gasos permanents** són aquells que mantenen una concentració constant i no experimenten cap variació significativa en funció d'un temps i d'un espai determinat. Representen el **99% de l'atmosfera** i són majoritàriament el nitrogen (**N₂**), l'oxigen (**O₂**) i l'argó (**Ar**), amb presència d'altres gasos com l'heli (**He**) o l'hidrogen (**H₂**). En primer lloc, el nitrogen és un 78% de l'atmosfera, sent el gas més abundant gràcies a la seva estabilitat i al seu temps de residència, que és d'uns 42 milions d'anys. El segon gas més abundant és l'oxigen, amb un 21%; és el gas determinant per a la vida dels éssers vius i el seu temps residència calculat és de 5000 anys. I finalment, l'argó representa un 0,93% del volum atmosfèric i el seu temps de residència és molt llarg a conseqüència de la seva baixa taxa de generació i eliminació. Aquestes tres gasos, tot i que són abundants i de gran importància per a la vida, no intervenen en els fenòmens meteorològics.

D'altra banda, els **gasos variables** són aquells que pateixen una variació significativa en la seva concentració segons l'espai i el temps. No arriben a constituir l'1% de la composició atmosfèrica, però, tot i això, són els que marquen els processos meteorològics. Els gasos més rellevants són el diòxid de carboni (**CO₂**), l'ozó (**O₃**) i el vapor d'aigua (**H₂O**):

- El **diòxid de carboni** és un 380 ppm de l'atmosfera i el temps de residència aproximat és de 150 anys, tot i que aquestes dades poden anar variant en els següents anys. S'emet a l'atmosfera mitjançant les combustions, les erupcions volcàniques i la respiració d'animals i plantes, mentre que s'elimina mitjançant la fotosíntesi. Al llarg de la història la seva concentració ha estat constant; malgrat això, a causa de l'elevat nombre de combustions que està produint la humanitat, el diòxid de carboni generat és molt més

que l'eliminat i, per tant, s'està incrementant a l'atmosfera. Absorbint l'energia emesa, produeix un escalfament en l'atmosfera.

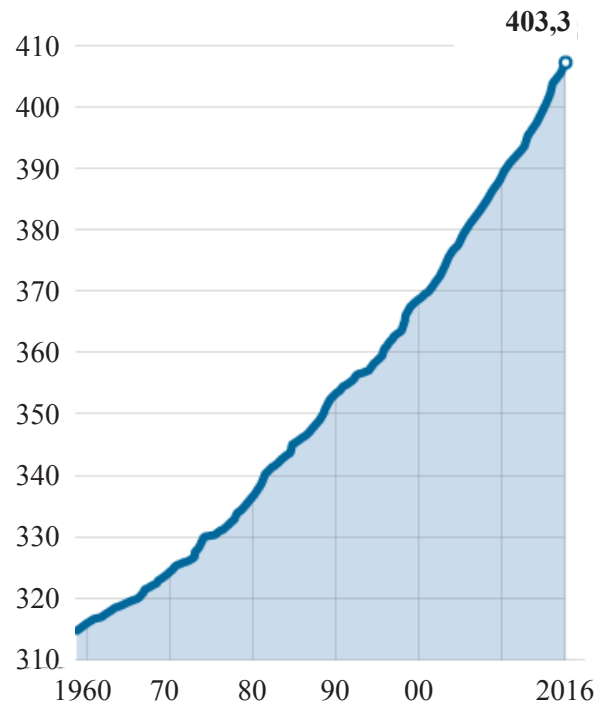


Figura 13. Concentració del CO₂ atmosfèric, en ppm

- L'ozó i altres gasos com el metà (CH₄) són pràcticament nuls a l'atmosfera i alhora són essencials pel balanç energètic del planeta. L'ozó absorbeix la radiació

ultraviolada, perjudicial per a la vida, així que podem parlar d'ell com una capa protectora.

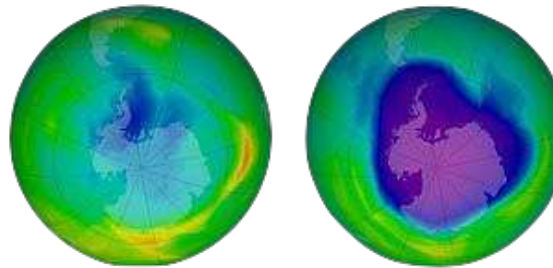


Figura 14. Comparativa de la capa d'ozó entre els anys 1979 i 2008

- El vapor d'aigua en l'atmosfera varia entre un 0 i un 4% segons la zona de superfície terrestre i la temperatura de l'atmosfera. Aquest gas experimenta canvis d'estat al llarg de tot el cicle atmosfèric ja que es genera per evaporació, mitjançant l'absorció d'energia solar, i s'elimina per condensació, formant núvols, i precipitació, tal que el seu temps de residència és de 10 dies. Així doncs, tot i la seva poca quantitat, el vapor d'aigua és el gas amb més importància en l'espai

atmosfèric perquè permet l'efecte hivernacle, absorbeix radiació solar i ajuda al balanç energètic.

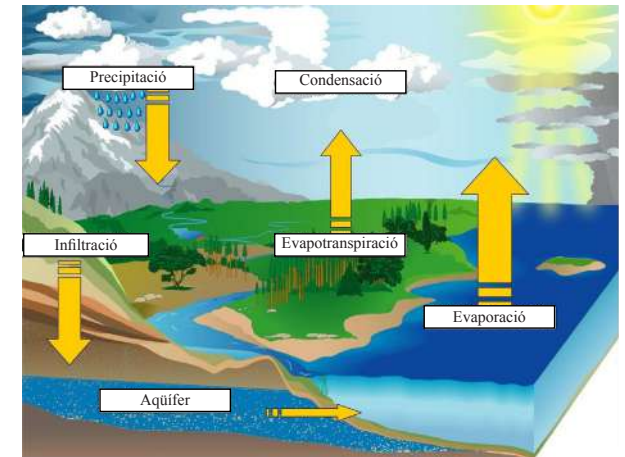


Figura 15. El cicle de l'aigua

Una segona classificació dels gasos és segons si són d'efecte hivernacle o no, és a dir, segons la interacció entre els gasos i la radiació:

- **Gasos d'efecte hivernacle (GEI):** vapor d'aigua, diòxid de carboni, metà i ozó.
- **Gasos de no efecte hivernacle:** nitrogen, oxigen, argó, neó, heli, criptó, hidrogen.



Figura 16. Aerosol atmosfèric

A més d'aquests gasos, s'han incorporat a l'atmosfera altres partícules diminutes en suspensió (sals, pols i cendres), tant sòlides com líquides, que floten per baixes cotes de l'espai atmosfèric, com a conseqüència dels fenòmens naturals i l'activitat biològica i humana. Aquest conjunt de partícules són anomenades **aerosol atmosfèric** i s'eliminen de l'atmosfera principalment amb les precipitacions, per la qual cosa el seu temps de residència sol ser de dies o poques setmanes, en funció també del seu tamany. De fet, segons aquest, es pot fer una classificació:

Partícules microscòpiques	$0.01 \mu\text{m} < r < 0,1 \mu\text{m}$
Partícules pesades	$10 \mu\text{m} < r$
Rang típic	$0.1 \mu\text{m} < r < 10 \mu\text{m}$
Aerosol ennuvolat	$10 \mu\text{m} < r < 100 \mu\text{m}$

Figura 17. Classificació dels aerosols

L'aerosol té importància meteorològica en la formació de núvols i en la transparència atmosfèrica, perquè la modifica reduint, normalment, la quantitat de llum de la superfície i fent-la més opaca. Entre aquests gasos es troben el **diòxid de sofre** i els **òxids de nitrogen**.

El TEMPS de RESIDÈNCIA d'un gas és...
 El quocient entre la massa (en *kg*) de l'atmosfera i la massa mitjana a la qual s'elimina el gas (en *kg/any*). Dona idea del temps necessari per a renovar el gas en l'atmosfera.



Figura 18. Els motors tèrmics com a emissors d'òxids de nitrogen

1.1.3. ESTRUCTURA VERTICAL

L'atmosfera no s'estén molt més que el radi terrestre i el seu gruix és complicat de determinar perquè els gasos es van fent menys densos a mida que s'allunyen de la Terra, segons l'equació hidrostàtica⁴. Hi ha bastant controvèrsia fins on es troba l'extensió de l'atmosfera, alguns posen el límit a 10 mil quilòmetres i altres a 30 o 40 mil; de fet, però, la realitat és que l'atmosfera **no té límit superior**: a mesura que se separa de la Terra, es va fent més prima i va perdent més molècules de gasos lleugers. Tot i això, es diu que la seva densitat mitjana és d'uns 1,29 kg/m³ i la massa aproximada, de 5,1·10¹⁸ kg, la major part de la qual es troba per sota dels 100 km d'alçada.

5 km	50% massa
30 km	99% massa
100 km	99,9% massa

Aquesta alçada de 100 km equival aproximadament al 0,5 % del radi terrestre, la qual cosa significa que, al ser tan prima, les corrents d'aire són principalment horitzontals.

A més de la densitat, la resta de propietats físiques també varien en funció de l'alçada i, segons la variació d'algunes d'aquestes propietats, l'atmosfera es pot dividir en capes. Així doncs, es presenten canvis tèrmics, baromètrics i químics.

CANVIS TÈRMICS

És de saber que la temperatura anirà disminuint amb l'alçada si la superfície terrestre es troba a un 287 °K i a l'espai exterior és de 0 °K, però el fet estrany és que aquesta variació no és linealment constant i presenta fins i tot decreixements i creixements tèrmics, definits per gradients

tèrmics⁵. De fet, en funció d'aquests canvis de signe en la variació tèrmica, l'atmosfera es pot dividir en cinc capes que es mostren en les següents figures: la troposfera, l'estratosfera, la mesosfera, la termosfera i l'exosfera.

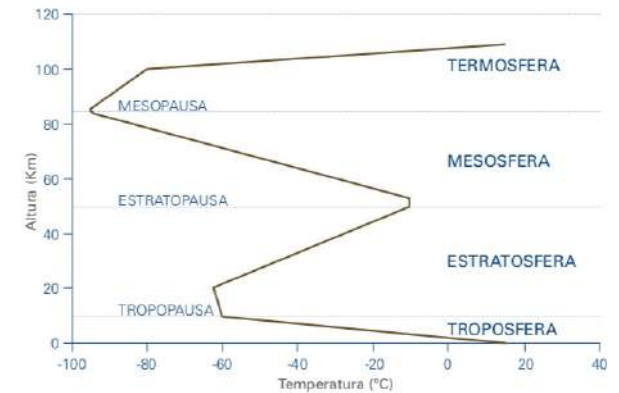


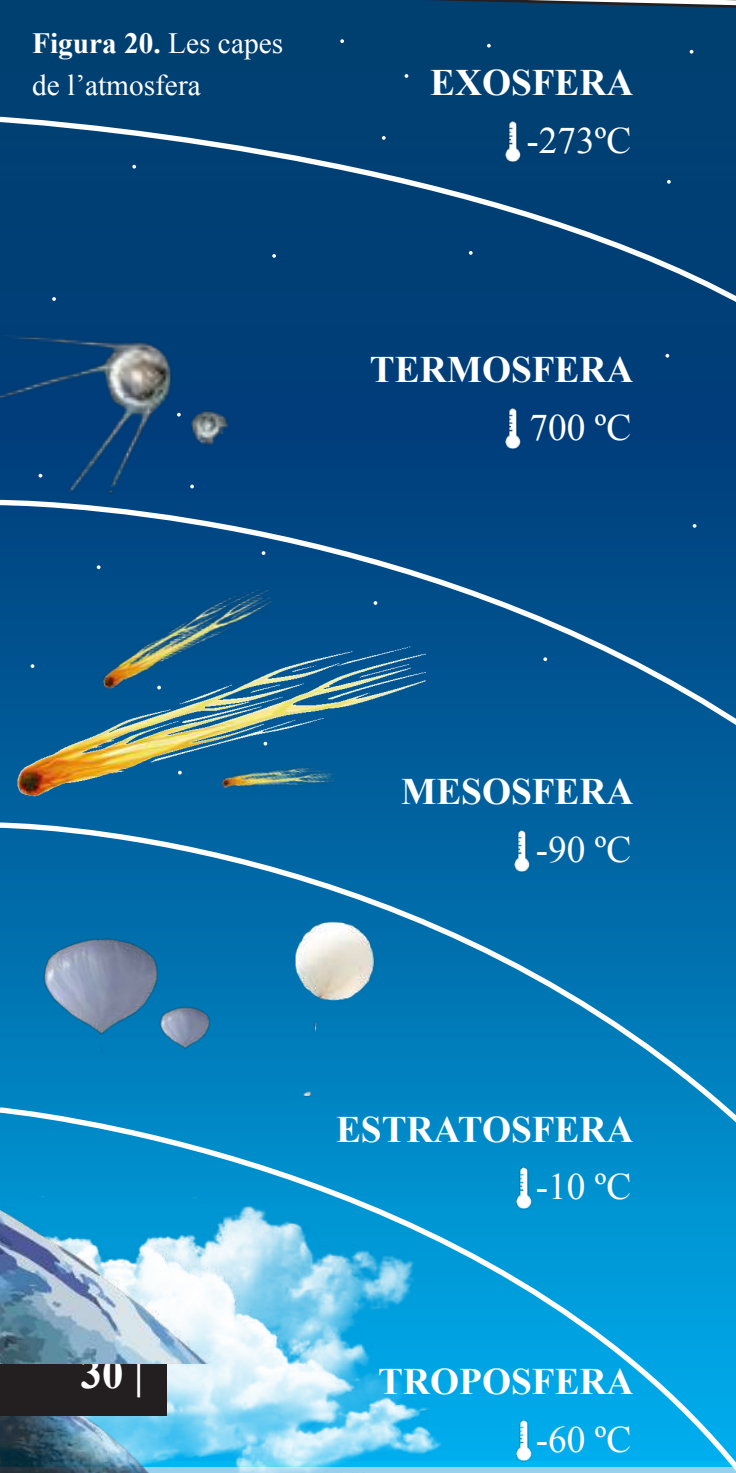
Figura 19. Variació de la temperatura en funció de l'alçada

Al límit superior de cada capa, la variació tèrmica s'inverteix i, per tant, la temperatura es troba constant durant uns instants. Per aquesta raó, les zones que separen les capes s'anomenen amb el sufix **-pauza**. Així doncs, existeixen també la tropopausa, l'estratopausa i la mesopausa.

⁴equació d'equilibri d'una massa líquida que estableix que la pressió en un punt d'un fluid és directament proporcional a la seva densitat (ρ), a la gravetat a la qual se sotmeti (g) i a la profunditat del punt (h), tal que $P = \rho \cdot g \cdot h$.

⁵variació de temperatura per unitat de recorregut.

Figura 20. Les capes de l'atmosfera



1. En primer lloc, trobem la **troposfera**, la capa inferior de l'atmosfera que es troba en contacte amb la superfície. La temperatura disminueix a mesura que augmenta l'alçada, amb una gradient vertical tèrmic de $-6,5 \text{ }^\circ\text{C/km}$. Així doncs, la temperatura és màxima a la superfície i mínima a la tropopausa, normalment d'uns $-60 \text{ }^\circ\text{C}$. Aquest límit superior se sol situar a uns 10-11 km d'altitud, però varia des de 8-9 sobre els pols fins a 16-18 sobre l'equador. La capa conté un 80% de la massa atmosfèrica, la major part de la qual és vapor d'aigua, i, degut a la inestabilitat que la manté en moviment continu, la composició de l'aire és bastant uniforme. En la troposfera hi ha una contínua circulació de les masses d'aire, tant horitzontal com vertical, que, juntament amb el vapor d'aigua, donen lloc a la formació de núvols i als fenòmens meteorològics. A més, és anomenada la capa bruta perquè conté tota la contaminació (aerosols).

2. Seguidament, es troba l'**estratosfera**, que està dividida en subcapes horitzontals i s'estén des de la tropopausa fins a uns 50 km d'alçada. La temperatura augmenta a mesura que també augmenta l'alçada, fins arribar a uns $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ en l'estratopausa; en aquest cas ho fa molt més lentament, de manera que el seu gradient tèrmic és més baix. Aquesta inversió tèrmica en l'estratosfera és provocada per la capa d'ozó (ozonosfera), que, absorbint l'energia ultraviolada, fa augmentar la temperatura; d'aquesta manera, les capes d'aire fred són més denses i es troben per sota de les d'aire calent. En definitiva, és una capa estable que conté el 19% de la massa de l'aire, sense presència pràcticament de vapor d'aigua, i en la qual només hi ha petits moviments d'aire horitzontals.

3. L'antepenúltima capa que trobem és la **mesosfera**. A partir de l'estratopausa l'ozó va disminuint i això ocasiona que el gradient tèrmic

torni a ser negatiu, és a dir, que la temperatura descendeixi. La capa arriba fins a 80-85 km d'alçada (mesopausa), on la temperatura és inferior a -90 C, la més freda de l'atmosfera.

4. La següent capa és la **termosfera** o **ionosfera**, que arriba fins als 500-600 km d'alçada. Les temperatures tornen a augmentar per l'energia alliberada en la dissociació o ionització d'àtoms causada pels raigs còsmics procedents del Sol. Així doncs, els gasos arriben a assolir temperatures majors a 1000 °C, representen una petita proporció de la massa atmosfèrica i la seva densitat és molt baixa. Tot i que la capa no sembla tenir suma importància, sí que té per les seves propietats elèctriques i magnètiques, com per exemple la reflexió d'ones.

5. I finalment, la capa exterior de l'atmosfera és l'**exosfera**, que s'estén des dels 500-600 km fins a l'espai exterior, a uns 10000 km. Els gasos van

perdent les seves característiques físico-químiques fins al punt d'assimilar la composició de l'espai.

A més de variar amb l'altitud, la temperatura també varia segons la **latitud**, degut a l'inclinació amb la qual els raigs solars es projecten. Això provoca que arribi menys energia solar sobre certes zones terrestres, sent mínima als pols i màxima a l'equador, on els raigs entren perpendicularment.

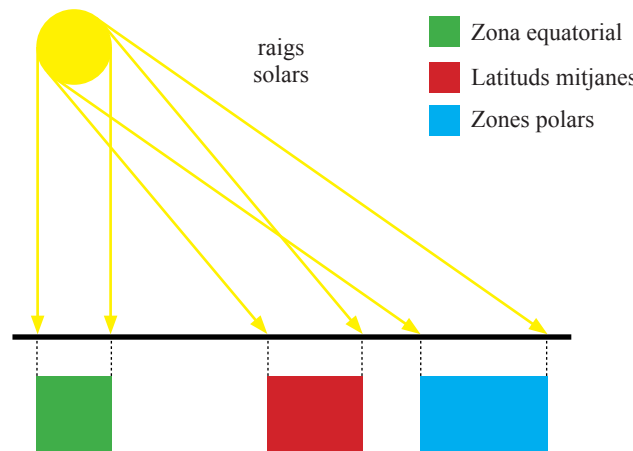


Figura 21. Inclinació dels raigs solars

CANVIS BAROMÈTRICS

Els canvis baromètrics al llarg de l'atmosfera no

són tan complexes com els de la temperatura ja que la pressió simplement disminueix a mesura que augmenta l'alçada i aquest succés té una explicació molt senzilla tenint en compte la definició de pressió atmosfèrica i que l'aire està més comprimit a prop de la superfície terrestre degut a la força de la gravetat.

Es coneix com a pressió atmosfèrica el pes de l'aire sobre la superfície terrestre, de manera que la pressió és directament proporcional al pes. Així doncs, si l'aire es va fent menys dens a mesura que hi ha més altitud, és a dir, hi ha menys partícules i per tant menys massa i menys pes, la pressió atmosfèrica serà menor amb l'alçada. Aquesta disminució, però, no és uniforme ja que la massa de l'aire va variant molt bruscament al llarg de tota l'atmosfera.

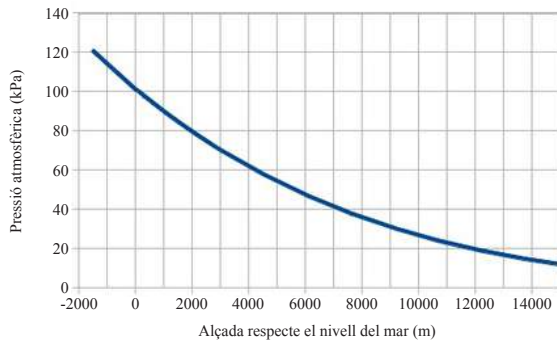


Figura 22. Variació de la pressió atmosfèrica en funció de l'alçada

CANVIS QUÍMICS

Així com la temperatura i la pressió pateixen un canvi amb l'altitud, la composició i l'estabilitat atmosfèrica també ho fan. Segons aquests criteris, l'atmosfera es pot dividir en dos capes: l'homosfera i l'heterosfera. D'una banda, l'**homosfera** és la capa que sintetitza els primers 80 km d'atmosfera, on la capa és constant i uniforme, i la composició és totalment homogènia, és a dir, els gasos estan ben barrejats sigui quina sigui la seva densitat.

D'altra banda, l'**heterosfera**, que s'estén des dels 80 km, presenta un comportament

totalment diferent: aquesta capa no és uniforme i els gasos s'organitzen per subcapes segons la seva densitat.

1.1.4. MASSES D'AIRE I FRONTS

Els canvis tèrmics i baromètrics en l'atmosfera, dels quals s'ha parlat anteriorment, provoquen **moviments horitzontals** de les masses d'aire. Es tracta de la circulació d'una gran quantitat massica d'aire, en una zona extensa, que es caracteritza per tenir unes determinades propietats físiques i, en concret, una temperatura, una pressió i una humitat úniques. Per a què l'aire contingui característiques uniformes ha de passar un cert temps sobre una mateixa zona que tingui també propietats uniformes, i aquesta zona és la superfície generadora de la massa d'aire.

Existeixen sis tipus de masses d'aire segons la regió d'on aquesta adquireixi les seves propietats:

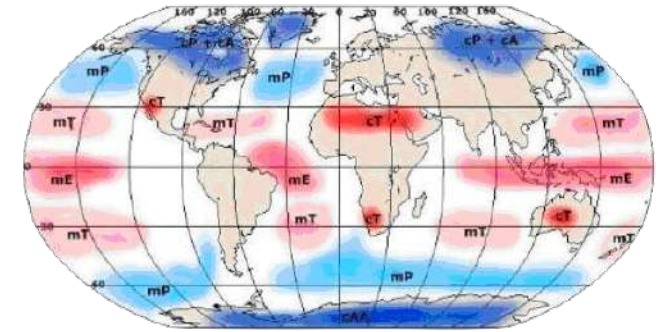


Figura 23 Diferents masses d'aire

- **Masses d'aire polar continental (Pc):** originades en la superfície subpolar, solen ser fredes i seques.
- **Masses d'aire polar marítim (Pm):** originades a zones subpolars i àrtiques, solen ser fredes i humides.
- **Masses d'aire tropical continental (Tc):** originades a continents subtropicals d'altas pressions, solen ser càlides i seques.
- **Masses d'aire tropical marítim (Tm):** originades en els anticiclons oceànics subtropicals, solen ser càlides i humides.
- **Masses d'aire equatorial (E):** originades en mars tropicals i equatorials, solen ser calentes.

- **Masses d'aire àrtic o antàrtic (A):** originades en els pols amb circulació d'anticlons, solen ser fredes, seques i estables.

Imaginem dues masses d'aire amb diferents propietats físiques; una polar i una tropical, per exemple. En una zona determinada, les masses col·lisionen i es produeix com a resultat del xoc un canvi sobtat de temperatura i humitat. Aquestes zones en les quals es troben les masses s'anomenen **fronts** i, per tant, per identificar-los només cal buscar grans canvis tèrmics i baromètrics.

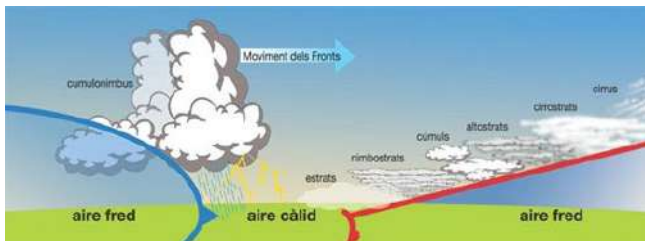


Figura 24. Fronts atmosfèrics

Aquests fronts no són sempre iguals, ja que les seves característiques depenen de les propietats de les masses d'aire. Per tant, es poden distingir dos tipus de fronts: els freds, els càlids i els closos.

Fronts freds

Es produeixen quan una massa d'aire fred topa bruscament amb una massa càlida. La primera, pel fet de ser més densa, avança ràpidament sobre la superfície i provoca l'ascens de la segona, que s'acabarà condensant i formarà núvols cumuliformes⁶. Com a conseqüència, s'experimenta una baixada en la temperatura i la humitat, i es poden originar fenòmens meteorològics tals com huracans, tempestes o forts vents.

$$V_{\text{aire}} = 40-60 \text{ km/h}$$

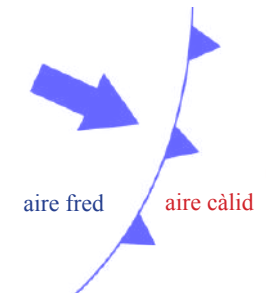


Figura 25. Front fred

Fronts càlids

S'originen quan una massa d'aire càlid empeny una de freda. L'aire fred segueix sobre la superfície i el càlid s'eleva lentament, provocant la formació de núvols estratiformes⁷ i petites pluges. Suposa un ascens de la temperatura i humitat.

$$V_{\text{aire}} = 40-60 \text{ km/h}$$

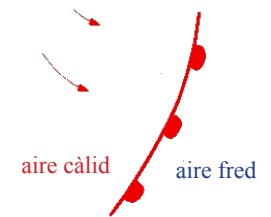


Figura 26. Front càlid

Fronts closos

Es dona quan un front fred atrapa un càlid i ambdós queden totalment units. Es troben a la superfície durant una bona estona, però finalment l'aire càlid s'eleva i es refreda, provocant petites precipitacions. El punt on xoquen els dos fronts s'anomena **punt triple**.

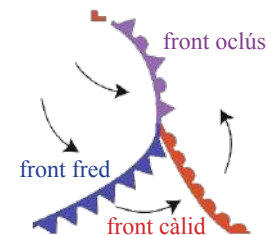


Figura 27. Front oclús

⁶també anomenades cúmuls, són un tipus de núvol que es desenvolupa verticalment i semblen fetes de cotó.

⁷tipus de núvol ampli, extens i difús que es desenvolupa horitzontalment.

1.2. ASPECTES FONAMENTALS

Com s'ha pogut veure en el capítol anterior, l'estat de l'atmosfera ve definit per un ampli ventall de magnituds, fenòmens i variables, i això impossibilita un estudi completament rigorós del camp.

Tanmateix, durant els últims segles l'estudi del temps s'ha anat realitzant mitjançant la mesura regular dels paràmetres físics que determinen l'estat atmosfèric: les **variables meteorològiques**. I aquestes variables no només s'estudien de forma separada, sinó que també s'efectua un estudi global, ja que estan completament relacionades entre elles i el canvi d'una produeix variacions de les altres.

Així doncs, per poder comparar les dades i trobar vincles entre variables, normalment la mesura es fa al mateix temps i els **instruments meteorològics**

s'instal·len compactament en allò que s'anomena **estacions meteorològiques**.

Les **DADES METEOROLÒGIQUES** són...
La informació numèrica que determina el temps, extreta després de fer la mesura de les variables meteorològiques.

A més, segons l'especialització i l'objectiu de l'estudi, existeixen diversos tipus de meteorologia i meteoròlegs.

Per tant, el propòsit d'aquest capítol és entendre com funciona l'estudi meteorològic, explicant des de quines variables s'estudien i com fins a esbrinar com ha d'actuar un meteoròleg correctament per interpretar el temps.

1.2.1. VARIABLES METEOROLÒGIQUES

Existeixen principalment sis variables meteorològiques que determinen l'estat atmosfèric: la temperatura, la humitat relativa, la pressió atmosfèrica, el vent, la precipitació i la radiació solar.

TEMPERATURA

La temperatura indica el nivell de **calor** o d'energia interna d'un cos, que són resultat d'un treball mecànic o de la transmissió d'energia des d'un sistema més calent.

La temperatura atmosfèrica és en realitat la temperatura de les partícules que componen l'aire i, en aquest sentit, l'escalfament o el refredament de l'aire està relacionat amb la interacció entre l'atmosfera i la superfície terrestre.

Tal i com s'ha dit abans, la calor és transmesa naturalment del cos calent al cos fred i, per tant, a nivell planetari, la superfície terrestre escalfa l'espai atmosfèric durant el dia i el refreda durant la nit, provocant un balanç energètic. Així doncs, la temperatura de l'atmosfera depèn directament de la **radiació solar** que impacta contra la superfície terrestre, però no cada cos s'escalfarà el mateix amb la mateixa temperatura. De què depèn la calor, a més?

La calor intercanviada depèn també de la calor específica de cada substància, que relaciona l'energia intercanviada per unitat de temperatura i massa.

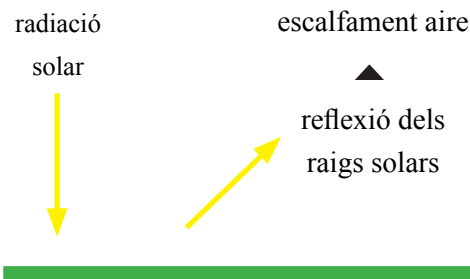


Figura 28. Transmissió de calor entre l'atmosfera i la superfície durant el dia

Els diversos factors que determinen la temperatura són l'altitud, la latitud, el vent i el relleu, la continentalitat i la proximitat al mar (la calor específica de l'aigua és major al de la resta de superfície).

Finalment, aquesta magnitud té associades tres diferents unitats segons les tres escales que existeixen:

- Escala **Celsius** (°C): dissenyada per Anders Celsius al 1742, el valor 0 correspon al punt de congelació de l'aigua i el 100 al d'ebullició.
- Escala **Fahrenheit** (°F): pròpia dels americans, és proposada per Gabriel Fahrenheit al 1714 i estableix el valor 32 com a punt de congelació de l'aigua i 212, el d'ebullició.
- Escala **Kelvin** (°K): pensada per Lord Kelvin al 1848, és l'usada en el Sistema Internacional i en la ciència. Es tracta d'una escala absoluta que no té negatius, essent el valor 273 el punt de congelació de l'aigua i 373, el d'ebullició.

Per tant, les conversions d'unitats són les següents:

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ}\text{F} = 1,8 \cdot ^{\circ}\text{C} + 32$$

HUMITAT

La humitat representa la quantitat d'aigua que hi ha en estat gasós a l'atmosfera. Aquest **vapor d'aigua** és totalment variable i la seva concentració depèn de diverses condicions com ara les característiques de la zona o els fenòmens meteorològics succeïts.


Hi ha varies opcions per definir el vapor d'aigua a l'atmosfera:



Figura 29. La humitat

- **Raó de mescles:** és el quocient entre la massa, en g, de vapor d'aigua i la massa, en kg, d'aire sec.
- **Humitat específica:** és la quantitat, en g, de vapor d'aigua per unitat d'aire.
- **Humitat absoluta:** és la massa, en g, de vapor d'aigua que hi ha per volum d'aire sec.

La mesura de la humitat, però, no se sol fer seguint aquests paràmetres, sinó que es fa amb la **humitat relativa**. Aquesta expressió aconsegueix indicar en tant per cent el vapor d'aigua que hi ha en l'aire respecte el màxim possible que podria contenir a una determinada temperatura. Per tant, una humitat relativa del 100 % vol dir que en l'aire ja no hi cap més vapor d'aigua.


El PUNT de ROSADA és...
 La temperatura a la qual l'aire s'ha de refredar per a què se saturei ($H_{\text{relativa}} = 100\%$).

PRESSIÓ ATMOSFÈRICA

El **pes** de l'aire sobre la superfície terrestre provoca el que s'anomena pressió atmosfèrica, mesurada en atmosferes, mil·libars, mil·límetres de mercuri, Pascals (SI) o HectoPascals. La pressió varia en funció de l'altitud i la latitud, però també segons la temperatura i la humitat. De fet, cada massa d'aire té una diferent pressió perquè les seves característiques físiques són específiques i segons el valor d'aquesta pressió es poden classificar dues zones: les d'alta i les de baixa pressió, és a dir, els anticiclons i les borrasques, respectivament.

D'una banda, els **anticiclons** (A) són masses d'aire càlides i convergents que descendeixen. L'aire que baixa es va escalfant i porta estabilitat i immobilitat.

I d'altra banda, les **borrasques** (B) són masses d'aire lleugeres i divergents que tendeixen a ascendir i es mouen ràpid. Es caracteritzen per ser

inestables ja que, al pujar, faciliten la formació de núvols i, per tant, de precipitació.

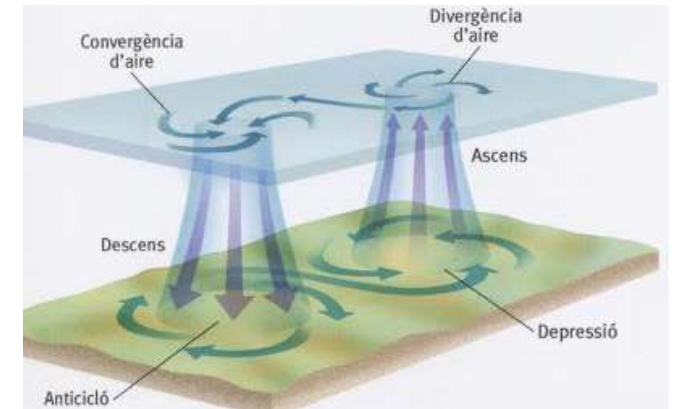


Figura 30. Anticiclons i depressions

L'aire se sol desplaçar de les zones d'alta a baixa pressió perquè tendeix a mantenir-se en equilibri i aquesta circulació és la que es coneix com a **vent**.

A més, també se solen estudiar les **isòbares**, que són unes línies en les quals la pressió és la mateixa. D'aquesta manera, el gradient de pressió és perpendicular a elles i si estan molt juntes, hi ha una gran diferència de pressió sobre una superfície petita i per tant hi haurà un fort vent.

VENT

El vent és el moviment de l'aire, tant vertical com horitzontal, que es dona com a conseqüència de les àmplies variacions de pressió i, per tant, a major diferència de pressions entre dos punts, més fort serà el vent.

El vent és determinat per la **direcció** (en °) i la **velocitat** (en *m/s*) La **rosa dels vents** és el sistema creat per a mesurar la direcció. Es tracta d'una circumferència dividida en 32 direccions de les quals pot provenir el vent, essent

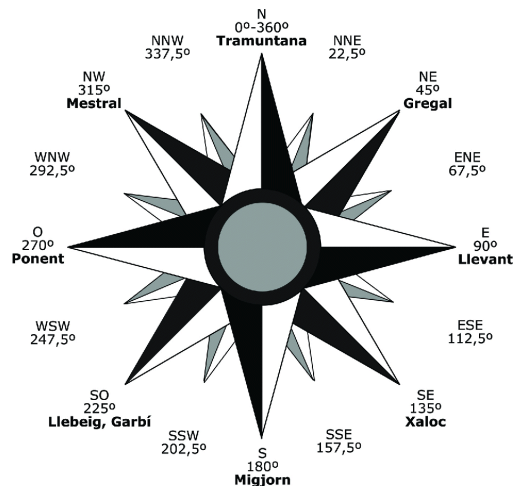


Figura 31. La rosa dels vents

algunes anomenades amb una paraula popular, com ara Tramuntana en la direcció Nord (N).

L'**escala Beaufort** classifica la intensitat del vent, és a dir, el vent segons la seva velocitat:

Grau	Velocitat (km/h)	Nomenclatura
0	0-2	Calma
1	2-6	Ventolina
2	7-11	Vent fluixet
3	12-19	Vent fluix
4	20-29	Vent moderat
5	30-39	Vent fresquet
6	40-50	Vent fresc
7	51-61	Vent fort
8	62-74	Temporal
9	75-87	Temporal fort
10	88-101	Temporal dur
11	102-117	Borrasca
12	>118	Huracà

Figura 32. Escala Beaufort

PRECIPITACIÓ

La precipitació és la quantitat d'aigua líquida que cau per unitat de superfície. Se sol mesurar en *L/m²*, però aquest factor acaba donant la simple unitat de *cm*, molt més precisa per a quantitats de pluja poc elevades.

$$L/m^2 = dm^3/m^2 = dm^3/10dm^2 = dm/10 = cm$$

RADIACIÓ SOLAR

La darrera variable meteorològica és la radiació solar (*W/m²*), que és la quantitat de calor que arriba a la superfície terrestre des del Sol.

La radiació electromagnètica té la propietat d'escalfar la terra i els seus objectes, sense escalfar l'aire, i viatja en forma d'ones que transporten més o menys l'energia. Si contenen molta, ens trobem amb els raigs gamma, els raigs X o els ultraviolats (UV). Els menys energètics són els infrarojos (IR), les micrones i les ones de radi.

1.2.2. INSTRUMENTS METEOROLÒGICS

Els instruments meteorològics són tots aquells aparells que mitjançant un mecanisme determinat permeten quantificar les variables meteorològiques. Cada variable meteorològica vista en l'apartat anterior té almenys un instrument amb el qual es pot mesurar. Així doncs, els dispositius de mesura són els següents.

TERMÒMETRE

L'instrument més comú per mesurar la **temperatura** és el termòmetre. Aquest aparell conté un tub de vidre tancat amb un dipòsit de **mercuri** o **alcohol**, el qual es dilata o es contrau quan varia la temperatura. Per tant, amb una **escala** a la bareta de vidre ja es pot indicar la



Figura 33. Termòmetre

temperatura.

HIGRÒMETRE I PSICRÒMETRE

L'higròmetre i el psicròmetre són els aparells que mesuren la **humitat relativa**.

D'una banda, l'higròmetre d'absorció, que és el convencionalment utilitzat, funciona gràcies a la variació que es produeix en diferents substàncies hidroscòpiques, com ara el cabell, quan absorbeixen i exhaleu el vapor d'aigua. Aquesta variació, provoca alhora la variació de l'agulla que conté l'higròmetre, indicant d'aquesta manera la humitat.



Figura 34. Higròmetre

D'altra banda, el psicròmetre està format per dos termòmetres convencionals i determina la humitat

mitjançant la relació entre la temperatura ambient i la temperatura de vapor d'aigua. Per a fer-ho, utilitza dos termòmetres convencionals: un d'ells té el dipòsit sec i l'altre té una cobertura que el permet estar sempre humitejat.



Figura 35. Psicròmetre

BARÒMETRE

El baròmetre és l'instrument que serveix per mesurar la **pressió atmosfèrica**. Existeixen diferents tipus de baròmetres, però un primer exemple pot ser el **baròmetre de mercuri**, que consta d'un tub sotmés al buit i amb un dels extrems obert. Quan aquest és introduït dins de mercuri, l'element puja fins que el pes de la columna estigui equilibrat amb la pressió atmosfèrica.

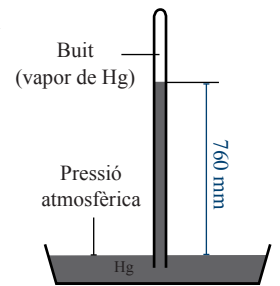


Figura 36. Baròmetre de mercuri

Aquest no és el baròmetre més conegut ni utilitzat comunment, sinó que és el **baròmetre aneroid**. Aquest conté una caixa metàl·lica sotmesa al buit que pateix deformacions en funció de la variació de pressió atmosfèrica i aquestes variacions són transmeses a una agulla que indica la pressió.



Figura 37. Baròmetre aneroid

PENELL

El penell indica la **direcció del vent**. Està format per un element giratori amb una fletxa a un dels extrems, que és la que marca exactament d'on prové el vent.

Tradicionalment, el penell té, a més, quatre senyaladors que indiquen el nord, el sud, l'est i

l'oest. Aquest aparell sempre s'ha trobat al sostre de grans construccions i esglésies, per motius diversos.



Figura 38. Penell

ANEMOMETRE

L'anemòmetre és l'instrument meteorològic que mesura la **velocitat del vent**. Existeixen diferents tipus d'anemòmetres: el d'empenta, el de compressió i el de cassoletes.

En primer lloc, l'anemòmetre d'empenta consisteix en un pèndol que conté al seu extrem inferior un objecte lleuger i buit. La seva posició varia segons

la intensitat del vent, la qual es mesurada amb una escala en forma d'arc, tal i com mostra la *Figura 39*.

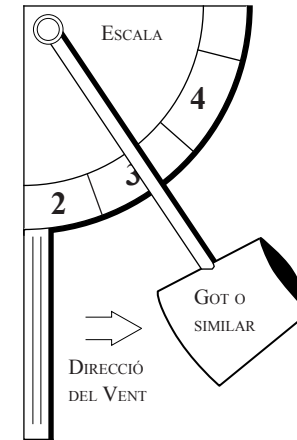


Figura 39. Anemòmetre d'empenta

En segon lloc, l'**anemòmetre de compressió** es basa en el principi de que la pressió extra que rep una superfície quan hi ha vent depèn de la velocitat. L'anemòmetre està format pel que s'anomena un tub de Pipet, format per dos tubs. un d'ells mesura la pressió dinàmica i un altre l'estàtica. La diferència entre aquestes dues pressions determina la velocitat del vent.

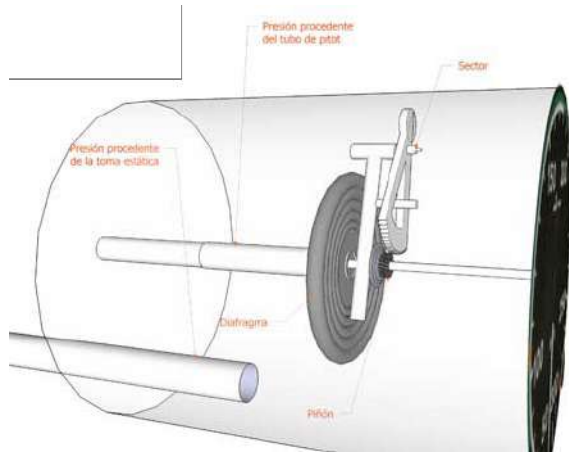


Figura 40. Anemòmetre de compressió

I finalment, el més utilitzat i eficaç és l'**anemòmetre rotatori o de cassoletes**. Aquest tipus d'anemòmetre està format per tres o quatre cassoletes giratòries i consisteix en buscar quin és el període de gir.

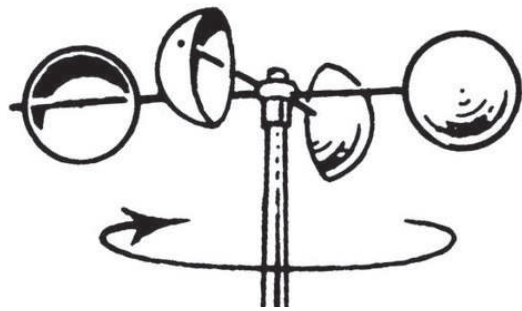


Figura 41. Anemòmetre de cassoletes

PLUVIÒMETRE

Per a mesurar la quantitat de pluja, és a dir, la **precipitació**, es fan servir els pluviòmetres. El pluviòmetre convencional és simplement un cilindre graduat, buit al seu interior i destapat superiorment, on s'acumula la quantitat d'aigua.

El pluviòmetre, un cop feta la mesura, s'ha de buidar, ja sigui abocant-lo o amb una pipeta, per a què no s'acumuli tanta aigua que l'aparell no sigui apte per a contabilitzar-la.



Figura 42. Pluviòmetre convencional

HELIÒGRAF I PIRÀNOMETRE

L'heliògraf i el piranòmetre mesuren la **radiació solar**. L'heliògraf és una bola de vidre, que

aprofitant la seva funció de lent, fa que els raigs solars quedin concentrats en un focus. Quan el sol es mou, el focus es va movent per una cartulina darrera de la bola. Si hi ha llum i calor concentrats, es dibuixa una línia segons la intensitat. El focus només escalfa quan hi ha sol i si desapareix no es registra cap línia. Al final de cada dia, se sumen el traçats marcats i s'obté la insolació solar.



Figura 43. Heliògraf

El piranòmetre és un element de detecció passiva, anomenat termopila. Aquesta augmenta la seva temperatura quan un sensor (negre) absorbeix la radiació total. Aquest calor que es genera passa per una resistència cap al cos de piranòmetre. Aquesta resistència es transforma en un voltatge, que determina la radiació solar absorbida. Per evitar factors que alterin la mesura, aquest detector està protegit per dues cúpules.

1.2.3. ESTACIONS METEOROLÒGIQUES

Les estacions meteorològiques són aquells entorns físics que recullen quasi tots els instruments meteorològics en un mateix lloc.

Normalment es parla de **garites meteorològiques**, que són un espai resguardat de condicions exteriors i conté tots els instruments meteorològics. De fet, això és el que s'anomena una **estació d'observació elemental**. Aquesta garita sol formar com un cub, tot i que el sostre té una petita inclinació superior, sent la part inferior la situada més al sud. La porta d'aquesta està al nord, ja que és on menys temps es troba el sol i per tant si s'ha d'obrir hi ha menys possibilitats que les variables quedin influenciades per la radiació solar.

No totes les estacions són iguals i és que no totes persegueixen estudiar totes les variables. Segons l'estudi que es vulgui realitzar i per tant quines

variables s'estudiïn, les estacions meteorològiques es poden classificar en:

- **Estacions pluviomètriques:** disposen únicament d'un pluviòmetre, el qual està en una zona totalment lliure d'obstacles. L'objectiu és investigar les precipitacions d'aquella zona.
- **Estacions tèrmiques:** disposen de diversos termòmetres que indiquen la màxima, la mínima i la temperatura mitjana. Han d'estar protegits de la radiació solar.
- **Estacions eòliques:** estudien el vent i, per tant, contenen un penell i un anemòmetre. Se solen instal·lar allà on es volen promoure les energies renovables eòliques, per exemple.
- **Estacions termobaromètriques:** disposen d'un baròmetre i d'un termòmetre, i busca relacions entre la pressió i la temperatura.



Figura 44. Garita meteorològica

- **Estacions termopluviomètriques:** contenen un pluviòmetre i termòmetres de màxima, de mitjana i de mínima, amb l'objectiu de conèixer el clima d'una regió.
- **Estacions completes:** són les que han de comptar amb tots els instruments dels quals s'ha parlat en l'apartat anterior. L'anemòmetre, el penell i el pluviòmetre han d'estar a l'aire lliure, a quatre vents, mentre que la resta d'instruments han d'estar resguardats a la garita.

A més, les estacions meteorològiques no es poden instal·lar de qualsevol manera. De fet, existeix una **normativa** que estableix uns paràmetres a seguir, inclosos en la següent entrevista.

Per a què aquestes estacions meteorològiques funcionessin a la perfecció sense tots els medis tècnics que avui dia existeixen era imprescindible la presència de persones compromeses, meticuloses

i precises que valoressin i enregistressin les dades meteorològiques durant els 365 dies de l'any a la mateixa hora solar. Les diverses institucions meteorològiques s'encarregaven de contractar aquests **observadors** per a què els facilitessin les dades. S'ha tingut l'oportunitat de contactar amb un d'ells, que ha proporcionat la informació necessària per conèixer amb ulls propis la realitat meteorològica al segle XX: l'Enric Gili.

ENTREVISTA A L'ENRIC GILI

L'Enric Gili és un senyor de 90 anys que durant les últimes 4 dècades ha estat l'**observador oficial** del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) i de l'Agència Espanyola de Meteorologia (AEMET) a la seva vila, a Esparreguera. Ell mateix tenia al pati del seu jardí una estació meteorològica elemental que li va proporcionar l'AEMET, on anava recollint dia rere dia a la mateixa hora les dades meteorològiques i, posteriorment, les apuntava

en un quadern de notes, juntament amb la data i l'hora. L'any passat va decidir abandonar aquesta tasca per la seva avançada edat, però alhora es va proposar fer una recopilació i una anàlisi de les dades meteorològiques més significatives d'Esparreguera. Així doncs, per no perdre aquesta informació que tant treball li ha portat i per la seva inquietud meteorològica, ha presentat el treball "*El temps a Esparreguera*" al concurs "Premis de Recerca Vila d'Esparreguera III". S'ha tingut l'oportunitat de contactar amb ell i, després de presentar-li aquest projecte, va accedir a fer una petita entrevista:



Figura 45. L'Enric Gili

I: Per què va decidir ser observador meteorològic i com ho va aconseguir?

E: Treballava a les Aigües d'Esparreguera i en aquella època era amic i company de l'antic meteoròleg de la vila. A vegades, quan ell no hi era disponible, em demanava que anés jo mateix a l'estació que ell tenia per a mesurar les dades i enviar-les. Així, vaig començar a aficionar-me per aquella tasca i alhora interessar-me per la meteorologia. Quan es va retirar, és ell qui em va proposar ser el nou observador; jo vaig acceptar.

I: Li van deixar instal·lar l'estació a qualsevol lloc o havia de complir algun requisit d'ubicació, de cota...?

E: Hi ha una normativa oficial i, de fet, van ser ells els quals em van instal·lar l'estació al jardí. En la meva estació, la porta de la garita mira al nord i no hi ha cap obstacle en 5 metres, la garita es troba a 1,5 metres respecte el terra i el pluviòmetre encara

està més elevat, arribant fins als 4 metres per evitar les esquitxades d'aigua i possibles obstacles al seu voltant.

I: Per què aquestes garites meteorològiques són blanques i han d'estar a aquest metre i mig del qual parles?

E: Perquè el color blanc permet reflectir la calor i

els raigs solars, de manera que la informació no queda afectada per la radiació. El metre i mig suposo que és més aviat una estandarització d'alçada.

I: S'ha de seguir algun protocol per registrar dades?

E: Sempre he acostumat a recollir les dades seguint



Figura 46. L'Enric i l'autor, als carrers d'Esparreguera

el mateix ordre, però era més una costum que una obligació.

I: Com es feia i com es fa per enviar les dades al SMC o a l'AEMET?

E: Anteriorment apuntàvem les dades a un llibretet, trucàvem a un dels seus telèfons i les dictàvem una a una. Avui dia, però, tot ha canviat: ara simplement omplim un document Excel que ens proporcionen ells mateixos, amb una taula ja incorporada, i se l'enviem.

I: A quina hora s'han de recollir i per què?

E: S'han d'agafar a l'octava hora solar; no té gaire explicació, simplement és un conveni dictat per l'AEMET que, recollint les dades a la mateixa hora, els permet comparar-les entre diferents estacions i poblacions.

I: Parlant de comparacions, amb el pròxim observador, que té l'estació a una altra

localització, es podrien comparar les dades entre ambdues estacions per realitzar un estudi climàtic d'Esparreguera, per exemple?

E: Tractant-se d'un estudi generalitzat, no hi hauria cap problema greu si comparem les dades entre l'estació nova i la meua. Sent rigorosos, però, cal dir que les dades no serien les mateixes si comparem les dues estacions en aquest moment i per tant la comparació seria breument errònia.

I: En quin sentit influeix la cota? Ha hagut d'anotar la de la seva estació meteorològica?

E: Sí, sí que influeix. La cota és, de fet, un dels elements importants per determinar l'estat d'una zona: no és el mateix situar-se a la zona baixa dels Pirineus que a l'alta, per exemple, ja que per molt que estiguin a la mateixa latitud les variables canviaran.

No et sabria dir si l'AEMET o el SMC saben exactament a quina cota se situen les estacions,

però suposo que agafen com a referència el nivell per sobre del mar al qual es troba la població.

I: Pel que fa més a les estacions altre cop, què passa quan el pluviòmetre sense buidatge automàtic s'omple i encara plou més? Deixa de recollir aigua?

E: Els observadors hem d'estar molt alerta quan plou. Si el pluviòmetre s'omple o està a punt d'omplir-se, hem de buidar-lo quasi tot ràpidament en una proveta graduada i anotar quina quantitat hem buidat per sumar-la a la que hi hagi posteriorment al pluviòmetre.

I: I en el cas de que nevi, què es fa per mesurar la quantitat de neu?

E: Tenim estipulat que 10 cm³ de neu representen aproximadament 1 cm³ d'aigua líquida; amb aquest petit factor de conversió, mirem la quantitat que hi ha al pluviòmetre graduat. Amb tot això hi ha prou per conèixer la precipitació.

1.2.4. TIPUS DE METEOROLOGIA

La meteorologia, tot i que té un únic objectiu, es pot estudiar des de diferents vessants i, segons aquest estudi, es pot classificar en diferents grups:

- **Dinàmica:** s'analitzen tant els moviments i els canvis termodinàmics que es donen a l'atmosfera com els factors que els causen.
- **Estadística:** fa una comparativa matemàtica entre la climatologia pròpia d'una regió i els fenòmens meteorològics concrets que succeeixen.
- **Física:** estudia les propietats físiques de l'atmosfera.
- **Experimental:** estudia els fenòmens atmosfèrics amb tasques experimentals.
- **Marítima:** estudia les complexes interaccions que succeeixen entre l'atmosfera i els mars, sent útil per la navegació marítima i la pesca.
- **Sinòptica:** estudia els fenòmens atmosfèrics i les seves causes, mitjançant l'observació a la mateixa hora d'una zona extensa, amb l'objectiu de realitzar prediccions futures.
- **Teòrica:** utilitza la ciència per estudiar els fenòmens meteorològics.
- **Aplicada:** és la que afecta a activitats socials, econòmiques i, en general, activitats humanes, tant d'oci com de necessitat.
- **Aeronàutica:** estudia com afecta la meteorologia a l'aeronavegació.
- **Hidrometeorologia:** es busquen vincles entre tot allò relacionat amb l'aigua (provisions, sequeres...).
- **Agrometeorologia:** s'estudia l'impacte meteorològic en l'agricultura i com pot ajudar per a què sigui més eficient el cultiu.
- **Mèdica:** estudia els efectes de les condicions meteorològiques al cos humà, tenint com a objectiu millorar la salut humana.

A més, segons l'escala d'estudi, també es pot trobar:

- **Micrometeorologia:** es fa un estudi a petita escala, implicant mesures en períodes curts de temps i molt a prop de la superfície.
- **Mesometeorologia:** estudia els fenòmens a escala mitjana, fins a desenes de km².
- **Macrometeorologia:** estudia a gran escala, des de regions àmplies d'un continent fins al planeta sencer.

1.2.5. SER METEORÒLEG

Què implica ser meteoròleg?

Ser meteoròleg suposa tenir la responsabilitat d'informar al món quin temps farà demà. Així, els meteoròlegs investiguen situacions atmosfèriques concretes i les causes que originen un fenomen amb l'objectiu de predir l'estat temps a curt termini d'una manera eficaç. Podríem arribar a dir que són grans especialistes tant en el món físic de l'atmosfera com en el desenvolupament de models informàtics que simulen condicions atmosfèriques.

Un meteoròleg també ha de conèixer tècniques específiques d'anàlisi per a interpretar la informació que li proporciona un model de pronòstic informàtic i extreure una conclusió. Això requereix una àmplia formació d'estadística i matemàtica, així com un **pensament metòdic i precís** capaç de detectar canvis propers en les

I no només això, sinó que aquests professionals també han de posar de manifest el seu poder d'**intuïció** i d'**observació** innata del medi ambient a l'hora de fer pronòstics. La gràcia del meteoròleg és entendre l'essència de l'atmosfera, saber el perquè s'ha produït un fenomen i saber amb quines condicions es podria produir un altre similar. L'observació i l'experiència és el còmput global que en general permet comprendre el funcionament de l'atmosfera.

A més, sent conscients de que una gran part d'activitats o de treball depenen quasi totalment de la meteorologia i la climatologia, no és d'estranyar que aquests professionals disposin avui dia d'un extens ventall de camps en les quals poder transmetre els seus coneixements. Així doncs, es necessita un meteoròleg en una extensa varietat d'àrees, com ara al conreu, a la pesca o a l'aviació, però també és molt important la seva presència des d'un caràcter informatiu, doncs molts interessos de

la gent depenen directament de la meteorologia.

Avui dia existeixen diversos càrrecs dins de l'ofici de la meteorologia ja que es disposa de meteoròlegs operatius, mediambientals, investigadors, informàtics i, a més, climatòlegs. Primerament, els **meteoròlegs operatius** són els coneguts com a "homes del temps", que s'encarreguen de la predicció del temps a curt termini i de l'anàlisi de les condicions meteorològiques. En segon lloc, trobem els **meteoròlegs mediambientals**, que s'ocupen de fer una valoració acurada constant dels possibles canvis en l'atmosfera per a mantenir sota un cert control la contaminació provocada per la humanitat i, indirectament, deixar constància de l'impacte ambiental de l'home en la natura; així mateix, són els que es reuneixen a cimeres del canvi climàtic per a buscar possibles solucions d'aquest. Seguidament, els **investigadors** són els que estudien el funcionament de l'atmosfera al llarg dels anys per a desxifrar a la perfecció com

és el seu comportament. En penúltim lloc, trobem els **informàtics**, que desenvolupen nous codis de programació tenint en compte lleis físiques i dinàmiques per a realitzar nous models numèrics que millorin les simulacions meteorològiques i per tant la predicció. I finalment, hi ha **climatòlegs**, que utilitzen l'estadística i les dades històriques per determinar i descriure la situació climatològica d'una regió o d'un país durant un llarg període de temps, tant de cara al passat com al futur. Així doncs, un meteoròleg és un predictor, un analista, un observador, un informàtic, un ecologista...

Per a conèixer de primera mà què significa de veritat ser meteoròleg i obtenir informació exclusiva de diferents aspectes relacionats amb la meteorologia, a continuació es presenta a un magnífic meteoròleg de prestigi, l'Eloi Cordoní, al qual s'ha pogut realitzar una petita entrevista.

ENTREVISTANT A L'ELOI CORDOMÍ

L'Eloi Cordoní és avui dia un dels meteoròlegs de la TV3. Des de ben petit ha estat aficionat a la meteorologia i, sent jove, va construir ell mateix una estació meteorològica com a treball per a l'escola. Cada dia, pujava al terrat del seu edifici i anotava les dades meteorològiques en un paper. D'alguna manera, aquesta primera presa de contacte amb la meteorologia va fer que volgués estudiar física i ser meteoròleg.



Figura 47. L'Eloi Cordoní

En els seus inicis laborals, va fer diverses pràctiques d'estudi als mitjans de comunicació, col·laborant també amb el Servei Meteorològic de Catalunya. Poc a poc, va anar postulant-se a l'equip de meteoròlegs.

A través de l'atenció a l'espectador de la pàgina web de Corporació Catalana de Mitjans Audiovisuals (CCMA), s'ha pogut contactar amb ell, presentar-li el Treball de Recerca i anar als estudis de TV3 per entrevistar-lo:

I: Has hagut de fer servir alguna vegada la intuïció per fer alguna predicció?

E: La intuïció no. De fet, crec que no és la intuïció, sinó l'experiència del meteoròleg. Un sap per altres situacions que un determinat model ha funcionat millor o no, però sobretot l'experiència. Ahir per exemple els models indicaven pluja, però, normalment, quan hi ha molts dies de pluja forta hi ha una inèrcia de que l'ambient està més humit del que indica el model, formant-se tempestes de vegades. Amb tot això vull dir que el model a vegades s'equivoca i encara que no marqui algun feno-

men, pot succeir.

I: Llavors un meteoròleg ha de tenir els ulls ven oberts davant el seu entorn, oi?

E: Sí. Tenir en compte l'entorn, fixar-se en els petits detalls, és imprescindible. Crec que la meteorologia és com una sèrie de televisió: si la mires un dia no entendràs res, però si l'observes una setmana o dues, començaràs a enganxar-te i coneixeràs els personatges. Quan portes un temps així, és com si l'atmosfera t'estigués parlant i tu mateix la pots entendre: veus un núvol i penses: que s'està formant per la presència de tal fenomen. o pot originar tal altre. Crec que entendre l'essència de l'atmosfera, saber per què aquelles taques blaves apareixen o desapareixen, és la gràcia del meteoròleg.

I: Respecte la meteorologia popular, creus que els refranys són verídics o creïbles?

E: Es basen en l'experiència de la gent i aquesta experiència es resumeix en aquestes dites. És divertit veure la ciència que hi ha darrera d'aquestes dites, ja que la majoria tenen alguna explicació. Si vols que et digui i t'expliqui alguna?

I: Alguna en conec: “cel rogent, pluja o vent”, per exemple.

E: Amb la posta de sol, el cel, sempre es torna de color grogós per la dispersió de raigs, que entren transversalment. Durant el dia travessen l'atmosfera els de menor longitud d'ona, que són els blaus i és per això que es veu el cel blau. Al vespre, es dispersen la resta de colors que no són el blau, com el groc, el taronja o el vermell. En condicions normals només es veu el groc, però quan hi ha humitat, es veuen els colors vermells. I quan hi ha molta humitat, és un senyal de canvi de temps.

I: Però, pot haver-hi humitat i no ploure, no?

E: És clar. Però si hi ha molta humitat, es pot condensar i per tant hi ha més probabilitats de que hi hagi pluja. És molt típic en les llevantades, que porten humitat de mar cap a terra, on la posta de sol del dia d'abans es veu molt vermellosa.

I: I l'altre típic, “al cel cabretes, al terra pastetes”, què vol dir?

E: Aquests núvols que semblen cabretes es diuen altocúmuls i arriben un o dos dies abans del front. Aquest tipus de núvols sempre arriben abans d'un front.

També hi ha qui diu que quan les orenetes volen baix és que ha de ploure. I també té a veure amb la humitat.

I: A més, he sentit que certs moviments dels animals poden preveure certs canvis meteorològics. Això és cert?

E: Això es va viure bastant en el tsunami del 2004.

Abans de la gran onada els animals van córrer cap a l'interior. Potser van sentir una freqüència d'un soroll que no sentim nosaltres...Alguna explicació científica deu haver, però costa de saber.

I: Què implica ser meteoròleg? Quin és el seu objectiu i quines haurien de ser les seves aptituds?

E: La missió més important del meteoròleg és salvar vides. Quan hi ha la previsió d'algun fenomen advers, la idea és que es pugui prevenir el perill per a què la població estigui completament alerta. Per últim, un dels altres objectius nostres és fer la vida de les persones més fàcil, és a dir, que puguis saber quan caldrà agafar el paraigües i quan no.

I: Per què creus que s'ha tornat tan imprescindible la predicció del temps?

E: Perquè Catalunya és un país que geogràficament és molt diferent: mar, muntanya, conreu, pesca.

Hi ha molta gent que depèn la seva feina de la meteorologia. Però a nivell d'oci també. Als catalans ens agrada anar a buscar bolets, anar a esquiar, anar a la platja... tot depèn del temps. Hem creat una necessitat, els nostres interessos depenen de la meteorologia. A qui no l'interessa la meteorologia té altres interessos que depenen del temps.

I: Com podria una persona qualsevol predir el temps?

E: Qualsevol persona amb uns conceptes de meteorologia molt senzillats podria fer-ho. Per mi la clau d'entendre els processos físics són el núvols i les pluges. Amb uns llibres d'introducció a aquestes àrees, qualsevol ja és capaç de jugar amb els models meteorològics.

I: Si la física és una ciència exacta, creus que la meteorologia també és una ciència exacta?

E: No ho és. La forma de escriure-la matemàtica

i físicament no permet que sigui exacta. Es fan unes equacions i si tinguessim totes les dades de tot arreu funcionarien millor; emperò, no les tenim i fem aproximacions. Aquest error fa tenir desviaments, i, per tant, hi ha un marge d'error que va augmentant exponencialment amb el temps. La dada variable és el temps actual, però entren moltes més dades en les equacions predictives.

I: És possible una predicció exacta? Hi ha algun antecedent o es podria arribar a aconseguir?

E: No, perquè farien falta dades de cada molècula de l'atmosfera. S'apropen molt a la realitat però mai a la certesa, ja que sempre hi ha un marge de error tot i que la tecnologia hagi fet avançar molt (ja que amb ordinadors potents se solucionen les equacions, majoritàriament diferencials).

I: Com a presentador de televisió, has rebut queixes de la gent per no haver encertat un pronòstic?

E: Sí, però es reben comentaris més que queixes. La gent ha entès que hi ha marge de error, que la meteorologia no és una ciència exacta; és com la medicina, es fan proves i sempre hi ha un marge d'error. En tot cas, si ho fan amb educació, no molesta.

I: Es podrien crear unes condicions meteorològiques determinades artificialment?

E: Condicions creades, canviar l'atmosfera? Tant directa com indirectament ja intervenim en el temps. Per exemple, semblant als núvols nuclis de plata, que provoquen una goteta d'aigua amb nuclis de condensació. Fer canviar altres paràmetres és molt difícil, però increïblement ho estem fent: hem augmentat la temperatura del planeta contaminant durant dècades.

I: Respecte el canvi climàtic, què me'n dius?

E: El canvi climàtic presenta un nou escenari: canvia sempre i continuarà canviant, i ara més ràpid, ja que abans era lent. Serà més ràpid del que les persones i els animals poden evolucionar. Hem de treballar perquè el clima canviï el menys possible i que les persones en aquest planeta puguin adaptar-se als canvis. El futur està en contaminar menys.

I: Com a curiositat, de què es compona l'estació meteorològica d'aquí, de la TV3?

E: La que hi ha a l'exterior es fa servir a nivell mediàtic: per ensenyar i visualitzar els sensors.

I: I parlant d'estacions, les dades registrades que s'agafen són d'estacions manuals o automàtiques?

E: Se solen barrejar les dues. Les automàtiques van bé perquè tenen un funcionament continu, però quan algun sensor es fa malbé s'usen les manuals.

I: I finalment, sovint confonem els termes de meteorologia i climatologia. Quina diries que és la clau per diferenciar l'una de l'altra?

E: La clau és el temps. El clima estudia 30 anys i la meteorologia el dia d'avui. Si ens referim a un temps curt, per tant, és meteorologia i si estudiem un temps llarg es refereix al clima.



Figura 48. L'Eloi Cordoní i l'autor, als estudis de TV3

1.3. LA METEOROLOGIA EN EL SEU CONTEXT HISTÒRIC

La meteorologia té un component històric molt curiós i és que ha fet un canvi dràstic des dels seus inicis, ja que el seu enteniment s'ha vist articulat entre dos punts totalment contraris al llarg de la història: la **creença** i la **ciència**. Així doncs, en aquest capítol es veurà com l'explicació dels fenòmens meteorològics ha anat canviant des d'una vessant mitològica, instaurada per necessitat a la prehistòria, fins a un camp científic, implantat a finals del renaixement i que encara perdura. A més, es veurà també com la concepció aristotèlica entrellaça ambdues comprensions, que, tot i les diferències, persegueixen un mateix objectiu, el de predir el temps.

1.3.1. PRIMERS ANTECEDENTS

Els inicis de la meteorologia no són del tot concrets i rigorosos, però és molt probable que els primers humans ja tinguessin un cert interès per comprendre el temps atmosfèric i entendre com funciona. De fet, més que un interès podríem dir que era una de les necessitats primàries dels prehistòrics.

Els primers éssers humans vivien de la caça d'animals i anaven d'un lloc a un altre en busca de menjar, sense tenir un hàbitat fixe. Buscaven refugi en coves o cabanes petites, però tot i això seguien estant molt exposats a les condicions meteorològiques amb les quals es trobessin. Per tant, la seva vida en general estava totalment condicionada pels fenòmens de la natura, i si la supervivència no era fàcil, encara ho seria menys en el cas de que el temps es tornés en contra d'ells.

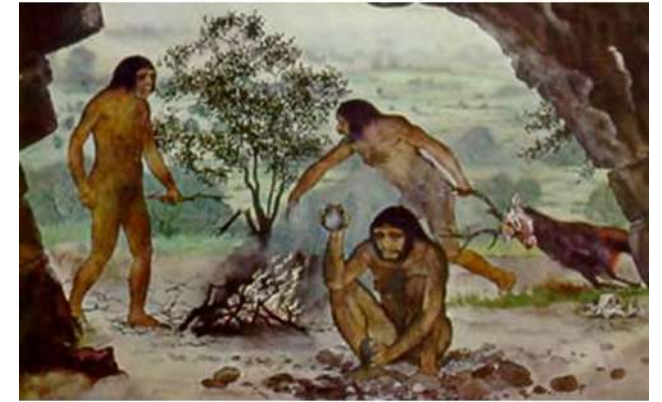


Figura 49. Les societats caçadores-recol·lectores

Ara bé, l'observació constant del seu entorn els va permetre realitzar una anàlisi de les situacions meteorològiques que podien succeir ja bé sigui segons creences mitològiques o l'estat de diferents elements de la natura (del cel, de la lluna...). D'alguna o altra manera, per mitjà de supersticions o d'aquests petits símptomes que els hi disposava la natura, es van anar ideant dites i refranys populars amb els quals van ser capaços d'anticipar-se al temps i fer petites prediccions.



L'home primitiu va poder observar totes les conseqüències negatives i els danys que les forces de la naturalesa provocaven sobre ells i, amb la necessitat de trobar una explicació a aquests fenòmens, van sorgir les **primeres creences mitològiques i religioses**: la natura va relacionar-se amb uns éssers perfectes i celestes, els déus. D'aquesta manera, van atribuir cada fenomen atmosfèric a un déu en concret, que ells mateixos van crear i anomenar. Posteriorment, van crear més déus per a estrelles, planetes, rius, estacions o inclús hores diürnes. Per exemple, el llampec es relacionava amb la fúria de Zeus, la tempesta amb la fúria de Posidó, la pluja amb la fertilització de la Terra per part de la deessa, que permetia la vida. Així doncs, guiant-se per aquesta creença, van arribar a la conclusió de que el temps era la manera amb la qual aquests déus es comunicaven amb ells. D'una banda, consideraven que els fenòmens atmosfèrics eren controlats per ells amb la intenció

de **jutjar els seus propis actes**; i d'altra, pensaven que també mostraven el seu **estat d'ànim** en funció a les condicions meteorològiques. És així, amb l'explicació d'allò natural a partir d'allò sobrenatural com neix la mitologia i apareix per primera vegada el terme "**déu**".

Davant la problemàtica dels efectes perjudicials del temps, es van veure obligats a buscar una manera d'anticipar-se o almenys estar preparats per a qualsevol fenomen que succeís. L'**observació** de l'entorn per a la posterior adaptació al medi era l'eina d'aprenentatge principal i més efectiva dels homes primitius, i no és d'estranyar que, a més de preveure fenòmens, també haguessin après a aprofitar-se'n de les condicions climatològiques i saber diferenciar la climatologia a les diferents etapes de l'any. De fet, és en aquesta època on trobem les **primeres societats agrícoles**. Aquestes van començar a desenvolupar un cultiu extens de les terres gràcies al coneixement de les con-

LA METEOROLOGIA

La meteorologia en el seu context històric

dicions meteorològiques idònies per a cultivar, com ara bé la terra fèrtil, les èpoques de pluja, les temperatures adequades, la disposició d'aigua...

Per tant, l'agricultura suposa un gir de 180 graus en les vides dels prehistòrics i passa a ser l'eix principal respecte el qual gira la seva vida. Les societats agrícoles s'estableixen en el llocs que veuen més favorables per cultivar i deixen de banda, per tant, la vida nòmada i la caça. Els primers aliments que van conrear van ser els cereals i els llegums.

Finalment, el descobriment de l'agricultura va comportar alhora l'aparició de **noves eines** especialitzades necessàries per realitzar les tasques agràries, com per exemple la falç per segar o l'aixada per cavar.



Figura 51. Primeres societats agrícoles

És a la civilització de l'**Antic Egipte** on trobem ja una notable preocupació pel temps. La civilització egípcia es desenvolupava als marges del riu Nil i, de tant en tant, quan arribava l'època de les pluges, aquestes aigües experimentaven una forta pujada del seu nivell, fet que proporcionava a la terra grans fertilitzacions.

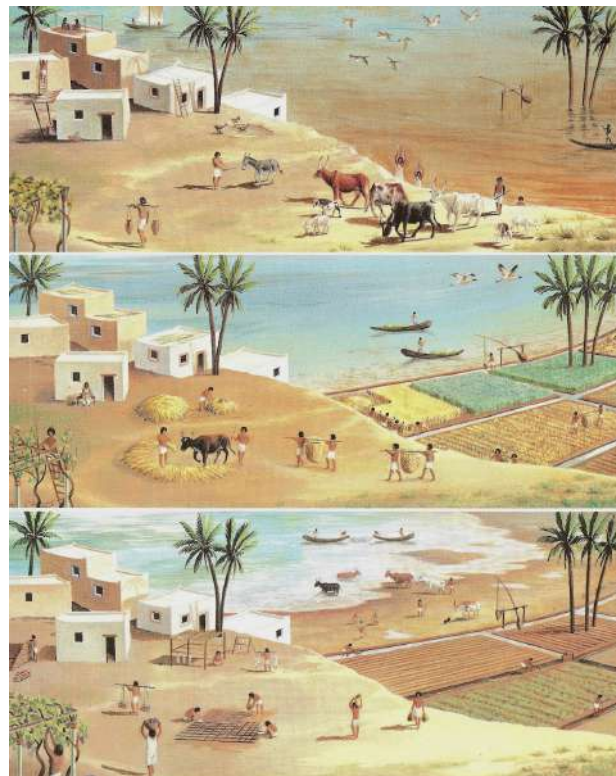


Figura 52. Els cultius als marges del riu Nil

Tot i que aquest fenomen permetia als egipcis començar a alimentar-se amb el conreu i el cultiu, també provocava grans desgràcies quan arribaven les grans inundacions, ja que els deixava sobtadament sense menjar. Segurament per aquest motiu, per aquesta necessitat d'alimentar-se, van encarregar a grans savis i sacerdots, que tenien el contacte directe amb Déu, predir l'arribada d'aquestes inundacions i així evitar aquestes desfortunes. Podríem considerar els **sacerdots** d'aquesta civilització com uns dels primers meteoròlegs de la humanitat.

1.3.2. METEOROLOGIA ARISTOTÈLICA

“Res es produeix perquè sí; tot sorgeix per una raó i per necessitat.” — Leucip

A l'antiga Grècia durant el segle V i IV a.C., els pensadors i filòsofs troben la necessitat de substituir l'acció indemostrable dels déus sobre la natura per explicacions lògiques que es poden trobar dins de la mateixa. Així doncs, l'enteniment de la meteorologia fa un canvi radical al llarg d'aquest període, i és el filòsof grec Aristòtil qui introdueix oficialment el terme “meteorologia”, construït amb les paraules “meteoros” (allò que se situa entre la Terra i les estrelles) i “lògica” (coneixement).

Aristòtil construeix el seu pensament responent estrictament a l'experiència i la percepció humana, amb les quals creu que es pot construir una imatge perfecte del món. Afirmar quatre principis bàsics per explicar tot el que envolta la meteorologia:

primerament, el món està format per quatre elements fonamentals: l'aire, l'aigua, la terra i el foc; en segon lloc, el moviment terraquí és geocèntric; en tercer lloc, l'univers està dividit en la regió celestial i la terrestre; i, per acabar, el món està en continu canvi i moviment.

Seguint la línia d'aquestes quatre consideracions, publica quatre llibres que constitueixen el tractat “*Meteorològics*”. En ells, s'expliquen les causes dels fenòmens meteorològics i els efectes que deriven de l'aire i l'aigua en la Terra, demostrant la presència de vapor d'aigua a l'aire i revelant la formació dels núvols, entre d'altres. Tot i que alguns dels conceptes explicats siguin incorrectes, es considera que Aristòtil marca un abans i un després en la història d'aquesta ciència, perquè va ser capaç de formalitzar científicament, en certa manera, el món meteorològic.

A més, va fixar una relació directe entre la

meteorologia i l'**astronomia**, tenint en compte que la Terra és immòbil i ocupa el centre de l'univers. Proposa que determinats moviments dels astres provoquen sempre uns fenòmens meteorològics determinats, tal que mitjançant l'observació del cosmos es poden fer prediccions del temps i del clima. Aquesta concepció és sostinguda durant tota l'edat mitjana, fins al punt d'aplicar la teoria proposada a la pràctica: els astròlegs es comencen a dedicar als pronòstics meteorològics.



Figura 53. Aristòtil

1.3.3. LA RE(E)VOLUCIÓ CIENTÍFICA

El **renaixement** va suposar una nova etapa de pensament i explicacions, ja que va obrir la porta completament al camí de la ciència i, conseqüentment, a la meteorologia moderna. Encara que altres investigadors com Arquímedes ja havien posat en pràctica l'experimentació, l'observació i l'anàlisi matemàtic, institucions i interessos polítics no permetien dur-la a terme correctament i per això no és fins al segle XVII quan el mètode científic cobra gran importància, en especial, a la meteorologia. De fet, és considerat el **segle d'or de la meteorologia**, principalment per l'aparició de nous centres d'observació i la invenció d'instruments meteorològics, que van començar a enregistrar els comportaments atmosfèrics.

Així doncs, amb aquests invents, ciència i tecnologia s'interconnecten i la ciència crea una interdependència amb l'evolució i el progrés de la

meteorologia, ja que es descobreix que les **eines tecnològiques** permeten **millors observacions** i l'observació meteorològica, tal com diu Descartes, és l'única via per a formular les lleis que expliquen els fenòmens atmosfèrics, cada cop més mesurables. Tot això permet un avenç de la ciència experimental, que substitueix l'explicació qualitativa d'Aristòtil per les observacions i, per tant, per la quantitat.



Figura 54. El telescopi, inventat per Galileu

Aquest model estàndard, introduït pel científic Galileu a principis del segle XVII, suposa, per tant, una nova forma de fer ciència en tots els seus sentits:

d'una banda, la formalització matemàtica, és a dir, la reducció del discurs científic a la matemàtica; i d'altra banda, la **interdependència tecnològica**, la necessitat d'observació i d'experimentació provoca l'aparició de nous aparells que signifiquen millorar les observacions i que a la vegada creen nous aparells. Ciència i tecnologia progressen juntes, a la par.

En la pàgina contigua es presenten cronològicament els instruments meteorològics descoberts durant aquesta etapa, revelant tant els seus descobridors com el seu principi de funcionalitat.



Figura 55. Galileu

Galileu i el termòmetre (1593)

El científic Galileu descobreix el principi de **flotabilitat**⁸ i, amb això, inventa al 1607 el termòmetre (**termoscopi**). L'instrument consisteix en una tub cilíndric, totalment tancat, que està gairebé ple d'un líquid transparent amb un coeficient de dilatació major al de l'aigua i conté diferents boles de vidre amb un líquid. Cadascuna d'aquestes té un etiqueta amb un valor de temperatura, és colorejada amb un color determinant (per reconèixer-les) i té diferent proporció de líquid, de manera que la seva densitat és diferent i es troben a una alçada inicial desigual. Galileu va observar que quan la temperatura exterior canviava i, conseqüentment, la temperatura i la densitat del líquid també, les esferes es recol·loquen a una nova altura depenent de la seva densitat. I com s'identifica la temperatura, exactament? Quan es formen dos grups d'esferes, un a la part inferior del tub i l'altra a la superior, s'arriba a l'equilibri tèrmic i la temperatura és la que indica la última bola del grup superior.

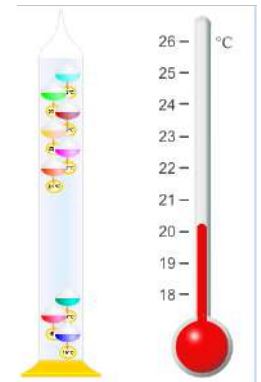


Figura 56. Termòmetre de Galileu



Figura 57. Torricelli

Torricelli i el baròmetre (1643)

Al 1643 Torricelli inventa el baròmetre. Va fer un experiment on va omplir de mercuri un tub d'un metre d'alçada, que estava tancat per un extrem, i el va invertir sobre un pot ple de mercuri; el tub ple de mercuri va baixar l'alçada fins a uns setanta sis centímetres. Amb això va poder descobrir que la pressió atmosfèrica era directament proporcional a l'alçada del tub de mercuri i afirma per tant que **760 mm de Hg** és una atmosfera.

Otto von Guericke va ser un dels primers en utilitzar el baròmetre per pronosticar el temps.

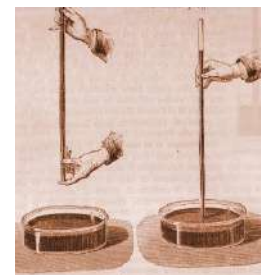


Figura 58. Experiment de Torricelli



Figura 59. Alberti

Alberti i l'anemòmetre (1450)

Leon Battista Alberti és conegut per ser l'inventor del primer anemòmetre mecànic de la història. Es tractava d'un pèndol rotatori que girava sobre una placa amb el vent i, mitjançant una escala graduada i en funció de la inclinació d'aquest, marcava la intensitat del vent.

Aquesta peça, però, va ser perfeccionada per altres tres inventors. Primerament, **Leonardo da Vinci** col·locaria una peça rectangular enlloc d'un disc, afegint també un arc amb una escala de mesura més precisa. Al 1667, **Hooke** fa uns reajusts i s'emporta els èxits del pare de l'anemòmetre. Finalment, no és fins a **Robinson**, l'any 1846, quan s'introdueix el primer anemòmetre de cassoletes.



Figura 60.
Anemòmetre da Vinci



Figura 61. Amontons

Amontons i l'higròmetre (1687)

Amontons descobreix l'higròmetre l'any 1687, el qual el va presentar a l'*Academy of Science*. Es va inspirar amb els pèls de la barba de les cabres, que s'estiraven quan s'humitejaven i es doblegaven quan estaven secs.

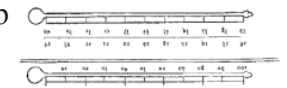


Figura 62. Higròmetre
d'Amontons



Figura 63. Saussure

Saussure i l'higròmetre de cabell (1780)

Saussure va usar cabell humà per a mesurar la humitat. L'higròmetre de cabell està format per un cabell tensat per un cilindre amb una agulla. Si hi ha menys humitat, s'encongeix i l'agulla gira en un sentit.



Figura 64.
Higròmetre de
cabell

1.4. DESXIFRANT EL MÓN DIGITAL: METEOROLOGIA ACTUAL

1.4.1. EL PRONÒSTIC DEL TEMPS

El pronòstic representa l'evolució temporal de l'estat atmosfèric en una determinada localització. Aquestes previsions són realitzades gràcies a les prediccions numèriques, que permeten simular les condicions atmosfèriques, és a dir, les variables meteorològiques, a curt, a mig i a llarg termini. I les previsions numèriques són **models numèrics** complexos, establerts en diverses equacions segons les lleis físiques atmosfèriques, i que només poden resoldre els ordinadors.

L'HORIZZÓ de PRONÒSTIC és...

El temps màxim pel qual els sistemes d'equacions es poden resoldre.

Tot i això, aquests models a vegades fallen i, de fet, en casos en els quals els ordinadors no poden resoldre les difícils equacions, s'utilitzen **parametritzacions**, fórmules matemàtiques que sintetitzen aproximadament els petits fenòmens.

El temps és una de les variables més dintre de l'equació i, quant més sigui escalarment, més possibilitats hi ha de que els models s'equivoquin. Per tant, el marge d'error augmenta proporcionalment amb el temps i, en cas de que els models no puguin resoldre les complexes equacions

Tot i que les equacions són determinades segons les mateixes lleis físiques, existeixen diversos tipus de models numèrics: el GFS, el IFS i el CFS.

Si es volen fer prediccions meteorològiques a curt i a mig plaç, és molt usual fer servir el **GFS** (*Global*

Forecast System). És un model de predicció americà que fa quatre actualitzacions diàries (00-06-12-18 hores) i les seves prediccions abarquen 16 dies per endavant.

L'altre model, conegut com el "model europeu", és el **IFS** (*Integrated Forecast System*). És considerat el millor model de predicció meteorològica ja que és relativament estable i aquest s'actualitza cada 12 hores (00-12 hores).

Quan es parla de prediccions a molt llarg plaç, es fan servir altres models, com el **CFS** (*Climate Forecast System*), però aquests són molt poc fiables, ja que fan servir dades de probabilitats a més de les dades que s'agafen de les interaccions entre la superfície, l'atmosfera i els oceans, que fan anar les de curt plaç. Normalment, a un mes vista, solen tenir bastant percentatge d'encert.

RADIOSONDATGE

El radiosondatge es tracta de llençar verticalment un globus ple d'heli amb una sèrie d'instruments meteorològics que permetin recopilar característiques verticals de l'atmosfera.

En general, se sol mesurar a diferents alçades la temperatura, la humitat relativa, la pressió i la força i direcció del vent.



Figura 65. Radiosondatge

SATÈL·LITS METEOROLÒGICS

Un dels invents tecnològics que ha millorat la predicció meteorològica i que determina amb facilitat l'estat atmosfèric és la creació de satèl·lits meteorològics artificials, com ara el *Meteosat*. Aquesta es troba en una òrbita geostacionària, a 36000 km d'alçada, que gira en el pla equatorial amb la mateixa velocitat angular que la Terra. Serveix per mesurar la radiació infraroja i el balanç radiatiu de l'atmosfera, però sobretot per agafar imatges de les condicions atmosfèriques i enviar-les a les centrals, on passen un calibratge.

RADARS METEOROLÒGICS

Els radars meteorològics serveixen per observar detalladament la **precipitació**. El que fan és enviar, des de l'antena, una energia; si aquesta impacta amb un blanc, es retorna un eco al radar, el qual es pot processar i determinar la seva intensitat, posició i moviment.



Figura 66. Satèl·lit *Meteosat*

1.4.2. ESTACIONS METEOROLÒGIQUES AUTOMÀTIQUES

Les Estacions Meteorològiques Automàtiques (EMA) són instal·lacions que disposen d'instruments meteorològics electrònics (equipats amb sensors), per mesurar les variables meteorològiques, i d'un *datalogger*⁹ que genera, emmagatzema i transmet a una central (via GPRS¹⁰, mòdem o antena mòbil) les dades de manera automàtica i contínua. A més, les estacions solen estar equipades d'un sistema d'alimentació (amb plaques solars, bateries o xarxa elèctrica).



Figura 67. Estació meteorològica automàtica

Aquestes estacions són imprescindibles en la meteorologia ja que proporcionen informació constant de l'estat atmosfèric, sense necessitat de fer una consulta manual, i es poden trobar en qualsevol lloc a qualsevol moment. Però no només això, també són molt necessàries per a moltes funcions gràcies a les seves aplicacions: aeronàutiques, viàries, hidrològiques, qualificaments de l'aire i oceanogràfiques.

El fet de que siguin automàtiques no vol dir que ningú no hagi d'anar a fer una revisió de tant en quant. De fet, requereixen una sèrie d'atencions, com ara un manteniment o una calibració, perquè mai se sap si alguna electrònica s'ha espatllat i

les dades obtingudes són errònies. A més a més, a nivell mensual i/o anual, han de passar obligatòriament una sèrie de **controls de qualitat**.



Figura 68. Control de qualitat d'una EMA

La localització de les EMA's ha d'anar en funció del que es vol mesurar principalment en ella. Si l'àrea a mesurar és extensa, necessita situar-se en un lloc amb visibilitat i on circuli bé l'aire, amb unes mesures específiques per la zona de sensors.

⁹dispositiu electrònic que registra dades en el temps mitjançant la informació extreta de sensors.

¹⁰(*General Packet Radio Service*) és una tecnologia de telecomunicacions que permet la comunicació via satèl·lit.

Per més informació sobre els instruments d'una estació meteorològica automàtica i el seu funcionament, vegeu 2.2. *L'estació i els seus components* (pàg. 71).

1.4.3. ENTREVISTA A L'ELISEU VILA CLARA

L'Eliseu Vilaclara, amb una llarga experiència al camp de la meteorologia, és actualment un dels directors del Servei Meteorològic de Catalunya. Recent llicenciat en ciències físiques, va començar a conduir la informació meteorològica a la Televisió de Catalunya i al Circuit Català de la Televisió Espanyola. Posteriorment i fins al dia d'avui, deixa els mitjans de comunicació per a centrar-se en l'àrea de predicció i en la meteorologia aplicada, formant part del Servei Meteorològic de Catalunya.

“Gràcies a una amistat comuna, el Salvador Samitier, que treballa al Departament del Medi Ambient, he pogut presentar-li la proposta del meu Treball de Recerca i fer-li una entrevista. Aquesta té com a objectiu saber com funciona veritablement el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), tant en la seva xarxa d'estacions meteorològiques observatòries com a l'hora de fer els pronòstics. Vam estar durant més de dues hores xerrant de diversos temes relacionats amb la meteorologia i ha estat impossible recaptar tota la informació dita. Per tant, aquestes són les pinzellades d'alguna de les preguntes que li vaig fer:”

I: Amb quin model es fan els pronòstics? I quin consideraries que és el millor?

E: Primer de tot s'introdueixen els valors actuals que ens proporcionen les estacions meteorològiques automàtiques. Posteriorment, es valora quin tipus de pronòstic es vol fer, és a dir, segons la magnitud del temps i la situació atmosfèrica es decideix quin dels models es fa servir. Per exemple, hi ha models

que van millor quan prové una borrasca i d'altres que van millor quan les condicions actuals són favorables. Es fan moltes simulacions, introduïdes personalment per nosaltres, i, a més, es poden arribar a agafar models antics amb circumstàncies semblants per predir què passarà.

I: Quin és el marge d'error i quin és el

percentatge d'encertar les prediccions? Com es calcula i de què depèn aquest percentatge?

E: El marge d'error varia cada dia, però depèn principalment del temps (magnitud). Per a què et facis una idea, el que fem és tenir en compte tots aquests paràmetres anteriors i mitjançant pura estadística anem comprovant amb percentils i mitjanes quin és el cas que té més probabi-



Figura 69. L'Eliseu Vilaclara

litats de que pugui passar. Aquest és el percentatge d'encert que surt al mòbil, per exemple, quan mires si plourà demà o no.

I: Quins requisits s'han de complir per a poder parlar d'una estació meteorològica automàtica?

E: Hi ha tot tipus d'estacions, des de les més senzilles, que compten simplement amb un sensor de termòmetre i d'humitat relativa, fins a més complexes que disposen d'higròmetres, piranòmetres... Nosaltres intentem sempre que estiguin el més equipades possible, però el fet important és que ens donin alguns paràmetres.

I: Si a Catalunya disposem d'un xarxa completa d'estacions meteorològiques automàtiques, per què se segueixen mantenint les estacions elementals i els meteoròlegs observadors?

E: Hi ha varis motius, però el principal és que nosaltres creiem que hem de reconèixer el seu treball com a vàlid; a més, són ells els qui alerten

de situacions que igual nosaltres des d'aquí no podem preveure. I un altre punt a considerar és que no sabem quan una EMA s'espalllarà i, en el cas de que això succeeixi, hem d'estar preparats i seguir obtenint dades del lloc.

I: Com s'envien les dades a la central corresponent i amb quina freqüència? Per què?

E: Les dades són enviades mitjançant el mòdul GPRS, ja que considerem que és el sistema més eficaç i alhora més econòmic. Les dades s'envien cada mitja hora, però nosaltres llegim els sensors cada segon i per exemple, en el penell i l'anemòmetre fem una mitjana de velocitat i direcció als 3 segons. Se'ns envia la màxima i la mínima, i quan hi ha algun registre que se surt dels paràmetres habituals, ens alerta automàticament per a què nosaltres comprovem mitjançant altres dades si la variable pot ser verídica i fiable o no.

I: Quina és normalment l'autonomia de les

estacions meteorològiques automàtiques? Veus recomanable la instal·lació de plaques solars?

E: Totes les estacions automàtiques disposen d'una bateria i d'una placa solar integrades que poden arribar a durar anys, però a més algunes van connectades directament a la xarxa d'electricitat, principalment, les de l'alta muntanya. Allà disposem de pluviòmetres amb calefactors.



Figura 70. L'Eliseu i l'autor, a les oficines del Servei Meteorològic de Catalunya



Figura 71. Perspectiva completa de l'estació meteorològica *Meteoscopi*.

2. PROJECTE METEOSCOPI



2.1. INTRODUCCIÓ

2.1.1. IDEA I OBJECTIUS

“Tot i tenir des d’un principi clar que el treball havia de tenir una gran part pràctica amb la qual pogués gaudir, la veritat és que no tenia pas idea de quin projecte iniciar. De fet, l’únic que sabia era que volia realitzar un treball polivalent, que tractés diferents àmbits que m’agradessin, però sempre relacionats amb la ciència i la tecnologia. Suposo que com quasi tot a la vida, les grans idees apareixen quan menys ens ho esperem. I és que un dia normal d’escola arribava a casa de la meva àvia per dinar quan la bombeta de llum se’m va encendre. Com de costum, la televisió projectava el telenotícies de la TV3 i era l’hora del temps, però justament aquell dia el meteoròleg es trobava en una estació meteorològica. És llavors quan se’m va aparèixer la musa de la inspiració i em vaig dir: i si

construeixo una estació meteorològica automàtica amb la impressora 3D de l’Escola? La idea inicial era bona, ja que podria dissenyar i programar, però sentia que aquelles dades mesurades no es podien perdre, així que aquest cop em vaig dir: i si faig una pàgina web mostrant i analitzant les dades? Ara sí que sí, la idea del projecte complia de ben segur amb totes les exigències: crear, dissenyar, programar i analitzar.”

Així doncs, l’objectiu principal a l’hora de realitzar aquest projecte és, a grans trets, **construir una estació meteorològica automàtica**. Per aconseguir aquesta fita, però, han anat resultant altres petits objectius que van encadenats un rere l’altre:

- Dissenyar** mitjançant la impressió 3D una estació meteorològica compacta i eficaç.
- Programar** els instruments meteorològics per

a llegir dades meteorològiques.

- Transmetre la informació a **Internet**.
- Crear una **pàgina web** amb registre de dades.

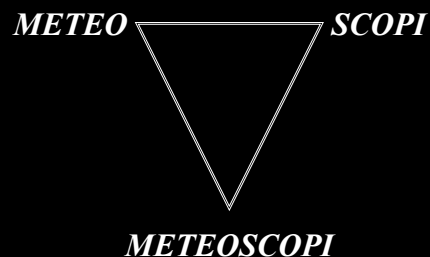
Una vegada se sabia què es volia realitzar i quins eren els objectius, calia investigar com s’havia de fer. Com crear i dissenyar els instruments, com digitalitzar el sistema o com enviar les dades a una pàgina web són exemples de preguntes que van aparèixer des d’un inici i que, pas a pas, s’han anat resolent al llarg dels següents capítols del projecte.

I no només això, sinó que també calia valorar quins dispositius eren necessaris. En termes generals, els requeriments principals dels quals disposar són:

- Programa de disseny per a la impressió 3D.
- Impressora 3D.
- Sensors per a cada instrument.
- Entorn de programació.
- Dispositiu per transmetre informació a Internet.

LA CREACIÓ DEL TÍTOL

Crear un títol o un nom original que defineixi a la perfecció qualsevol treball és una de les tasques més importants per al creador. En aquest cas, *Meteoscopi* és el nom que rep l'estació meteorològica construïda i intenta sintetitzar en un sol terme el significat d'aquesta. La paraula sorgeix/parteix de la idea que una estació meteorològica és, en realitat, l'observatori de la meteorologia. Així, el mot està format per la combinació dels termes "meteo", provinent de meteorologia, i "scopi", del grec, instrument per observar.



2.1.2. ENTORNS DE TREBALL

Com ja s'ha dit anteriorment, aquest projecte és una combinació de diferents àmbits i per tant cadascun d'ells s'ha de treballar per separat amb diferents eines i programes. A l'hora d'escollir els entorns de treball, s'ha tingut en compte el nivell de dificultat d'aquests així com la disponibilitat.

A les columnes següents es pot trobar un llistat dels programes utilitzats al llarg del projecte:



Tinkercad és el programa emprat per al disseny de l'estació. Pensat per a la impressió 3D, permet crear en línia qualsevol element imaginatiu a partir de figures bàsiques incorporades i, posteriorment, exportar l'arxiu en format ".stl" per a poder imprimir-lo. El programa s'adequa amb això als requeriments del treball, però, a més, l'elecció d'aquest entorn de treball va ser encara més decidida amb l'oferiment a l'usuari de curts i alhora complets tutorials d'iniciació, que

estableixen una major fluïdesa per a crear figures. Així doncs, els motius de l'elecció són principalment la seva senzillesa i el seu fàcil ús, però també els seus bons resultats i la seva mil·limètrica precisió.

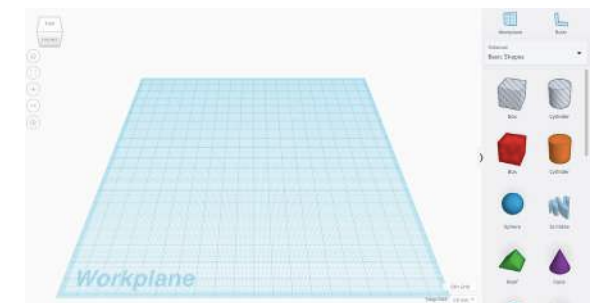


Figura 72. Tauler de disseny a la pàgina web de Tinkercad



Arduino

Arduino Foundation

arduino.cc

Arduino és l'entorn escollit per a fer funcionar electrònicament els instruments meteorològics. Es tracta d'una plataforma de programació que disposa d'un processador físic al qual se li afegeixen sensors (dispositius d'entrada) que capten una informació exterior. Aquesta informació passa per la placa, el cervell d'Arduino, que converteix les magnituds físiques o químiques en variables elèctriques, mitjançant la creació d'un software determinat (programació), i permet fer una lectura en un dispositiu de sortida.

Així doncs, podríem parlar també d'Arduino com el germà petit d'una computadora, ja que també es basa en un sistema on la informació dels dispositius d'entrada és aprofitada per un processador per a generar altres sortides. En

poques paraules, Arduino és una plataforma per a desenvolupar projectes electrònics.



Figura 73. Entorn de programació d'Arduino

Els motius per escollir aquesta eina de treball són els tres següents:

- La disposició de diverses llibreries ja incloses al programa.
- El codi de programació és relativament

senzill en comparació amb altres codis i ja es té familiaritzat d'anys anteriors.

- La seva versatilitat, ja que permet connectar pràcticament qualsevol sensor.

Arduino ofereix diferents tipus de plaques de desenvolupament, però l'Arduino UNO és la més utilitzada i estandarditzada. Aquesta placa és la usada en aquest projecte, ja que és adaptable a un ampli ventall de sensors i això permet l'adequació correcta amb el que es necessita.



Figura 74. Placa Arduino UNO

2.1.2. IMPRESSIÓ 3D

La construcció de qualsevol objecte ha comportat al llarg de la història el treball d'una altra matèria prima que el pogués generar. Per exemple, a l'època medieval eren els artesans els qui maduraven els seus materials per obtenir un producte final, o a la revolució industrial eren els obrers juntament amb les màquines els quals fabricaven una sèrie repetitiva d'objectes. Actualment, però, ens sorgeix una altra oportunitat per treballar els productes: la impressió 3D. I és que aquesta nova tècnica permet dissenyar al creador pràcticament qualsevol producte de la seva imaginació fet de qualsevol element. Per tant, la impressió 3D suposa una revolució en l'elaboració de productes i, a més, el seu ús es troba a l'abast de tothom.

Es tracta d'una tecnologia recent nascuda

que produeix objectes volumètrics a partir de la **superposició de capes fines** d'un mateix material; aquesta part del procés d'elaboració es du a terme mitjançant la impressora 3D, que és la màquina capaç de replicar en el món físic dissenys tridimensionals creats en l'ordinador.

La impressora utilitzada per aquest projecte és l'anomenada *Up Box+ Tiertime 3D Printer* i el material destinat és el plàstic ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)¹¹.



Figura 75. Impressora 3D Tiertime UP Box+

¹¹conegut com a plàstic d'enginyeria, és un material dur, rígid i tenaç que es fa servir comunament per a la impressió d'objectes en 3D.



Figura 76. L'extrusor d'una impressora

Pel que fa al procés d'impressió complet de *Meteoscopi*, consta essencialment dels següents quatre passos:

1. Dissenyar al programa Tinkercad la peça i exportar-la en format .stl.

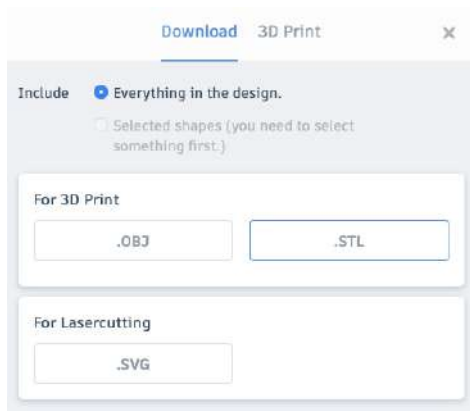


Figura 77. Descàrrega de l'arxiu a Tinkercad

2. Afegir l'arxiu a *Up Studio*¹² i posar-la a imprimir.

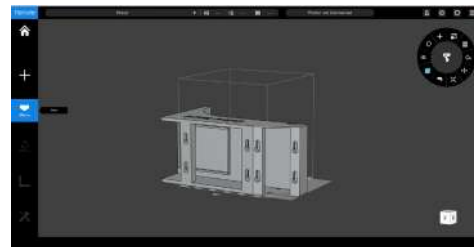


Figura 78. L'aplicació *Up Studio* amb la peça a punt per a imprimir

3. Deixar la peça imprimint-se durant el temps necessari.



Figura 79. La peça imprimint-se en 3D a l'Escola

4. Extreure el material sobrant de la impressió.

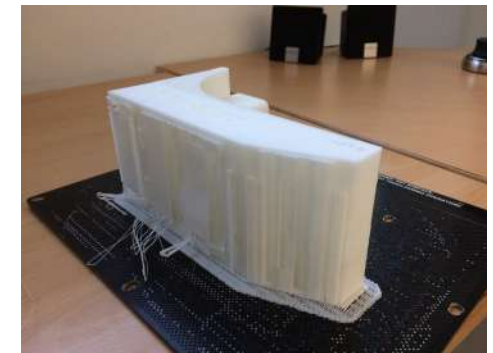


Figura 80. Extracció manual del plàstic innecessari

En conclusió, la necessitat d'obtenir una estació mil•limètricament adaptada al que l'autor necessita és el motiu principal pel qual s'ha escollit treballar amb aquest instrument; suposa el punt de partida per a la construcció de l'estació meteorològica i el projecte no es podria realitzar de la millor manera en cas de no utilitzar la impressió 3D. És, sens dubte, la tècnica perfecta per a construir *Meteoscopi*.

I amb tot això dit, arriba l'hora de presentar-vos *Meteoscopi*!

¹²aplicació de disseny predeterminat de la impressora Tiertime UP Box+ al qual s'han de pujar els arxius per a que els carregui a la impressora en qüestió i els pugui imprimir.

2.2. L'ESTACIÓ I ELS SEUS COMPONENTS

Meteoscopi és una estació meteorològica automàtica, construïda des de zero, que es compon de cinc instruments de mesura: un **anemòmetre**, un **pluviòmetre**, un **penell** i dos sensors de variables meteorològiques, un de **pressió atmosfèrica** i un altre de **temperatura i humitat relativa**. A més, consta d'altres sensors per al funcionament dels tres primers aparells i també d'una placa Arduino amb diferents complements necessaris.

Per a l'anemòmetre, el penell i el pluviòmetre s'ha fet servir un mecanisme en el qual uns sensors específics llegeixen un paràmetre que determina una mesura numèrica. Posteriorment, s'extreuen les dades meteorològiques amb la programació d'Arduino. Aquesta programació és connectada i enviada als diferents sensors mitjançant la placa Arduino. La placa, alhora, està alimentada amb

una font externa de piles de liti i envia aquestes dades a Internet per mitjà d'un mòdul.



Figura 81. *Meteoscopi*, l'estació meteorològica

El disseny global de l'estació està pensat per a què aquesta sigui el més **compacta** i **petita** possible, i alhora que quedi adaptada completament tant als sensors de cada aparell com a la placa Arduino i els seus complements. En un principi, s'havia pensat crear un doble eix anemòmetre-penell, però els cables que connectaven el sensor amb la placa Arduino no podien passar per cap lloc, de manera que es va haver d'afegir una part adicional al costat del pluviòmetre per a col·locar l'anemòmetre, i el penell va quedar en aquest lloc inicial, en la part superior del cos de l'estació. Pel que fa als sensors d'humitat, temperatura i pressió, se situen envoltats de la pantalla Stevenson per sota del cos.

En les pàgines contigües d'aquest capítol trobareu la documentació sobre cada instrument meteorològic en qüestió, explicada de manera senzilla i visual en tres apartats: **disseny**, **funcionament** i **codi de programació**.

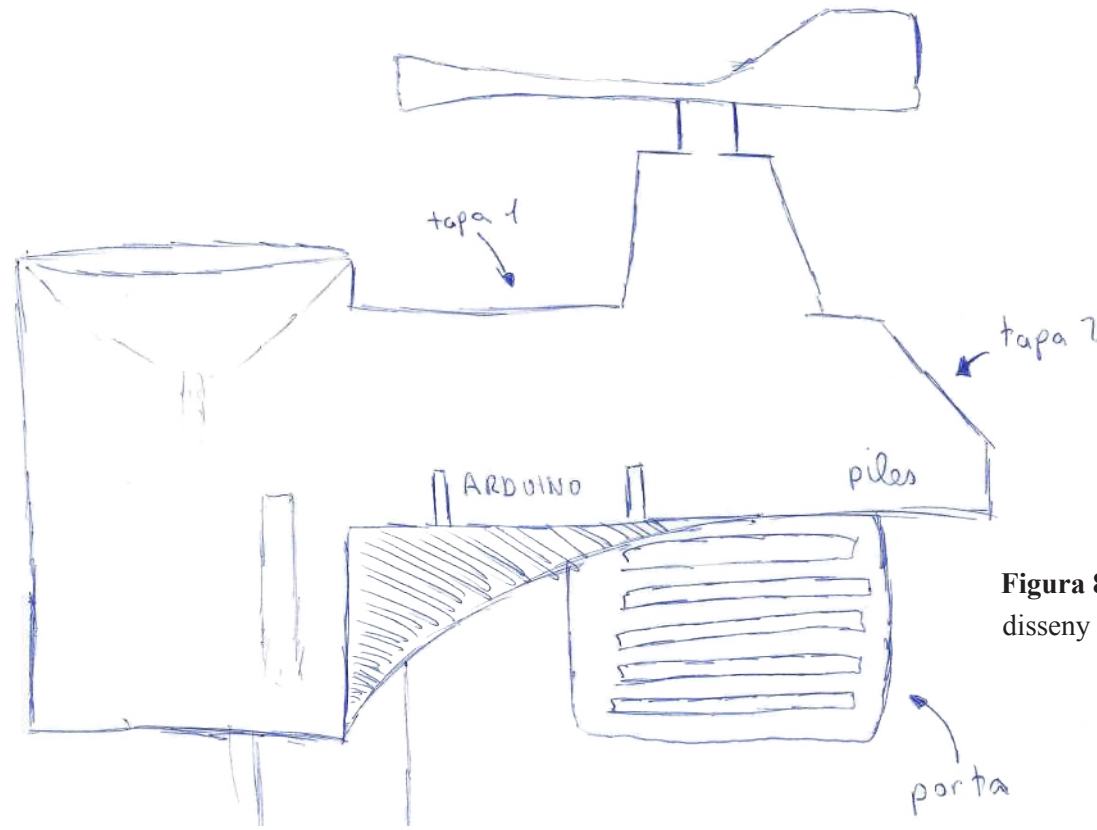


Figura 82. Esbós inicial del disseny exterior de l'estació

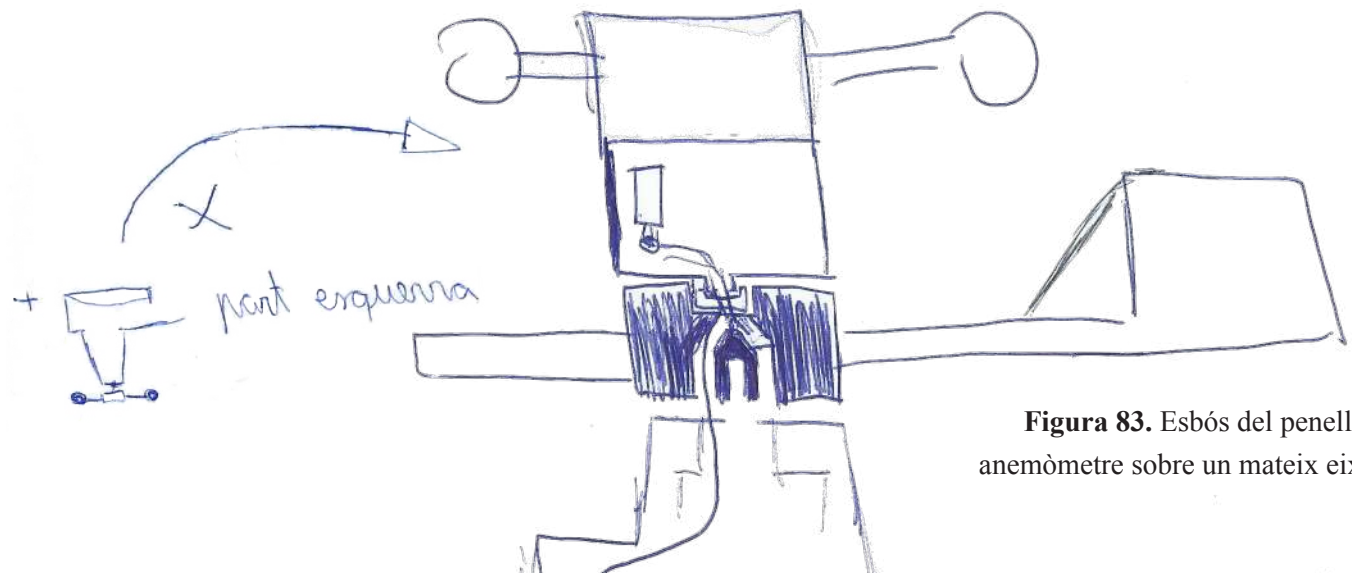


Figura 83. Esbós del penell-anemòmetre sobre un mateix eix

2.2.1. L'ANEMÒMETRE

L'anemòmetre utilitzat per realitzar mesures de la component horitzontal de la velocitat del vent és l'anomenat **anemòmetre de cassoletes**. Està constituït per dues parts: la superior, que és la peça fixa amb el cos de l'estació i conté el sensor; i la inferior, formada per un **imant** i **tres cassoletes** o copes semiesfèriques, posicionades en un angle equidistant de 120 graus, que giren al voltant d'un eix vertical quan hi ha vent i provoquen alhora la rotació de tot aquest element inferior. A més, també hi ha incorporat un eix central que uneix les dues parts i permet la rotació, juntament amb un coixinet de rodolament¹³ que minimitza la fricció mecànica¹⁴ entre la part superior i inferior a l'hora de girar.

Així doncs, les característiques principals d'un

anemòmetre ben dissenyat són les següents:

- Rotació completa lliure d'obstacles (**a quatre vents**).
- Dispositiu **rotatori sense fregaments**.
- Disseny semiesfèric de les copes per a obtenir una major resposta aerodinàmica.
- Llargada ajustada del braç rotatori, essent preferiblement més llarg que no pas curt.

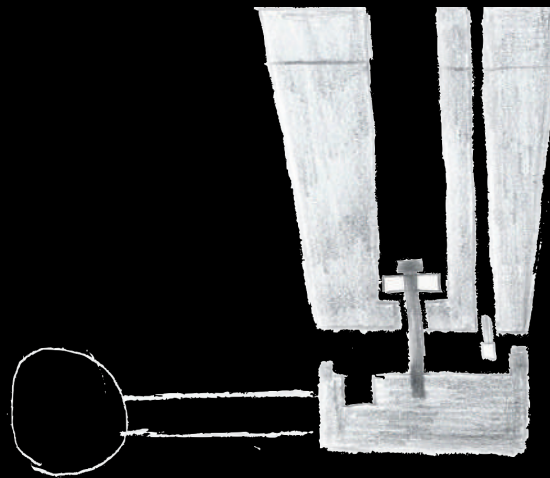


Figura 84. Esbós del disseny de l'anemòmetre



Figura 85. L'anemòmetre

¹³element mecànic que redueix la fricció entre un eix i les peces connectades a aquest mitjançant l'acció de boles que rodolen entre dos anells.

¹⁴resistència al moviment entre dues superfícies de contacte.

LA PART SUPERIOR: el coixinet de rodolament, el sensor i l'eix



Figura 86. Procés de disseny de la part superior

LA PART ROTATÒRIA: l'imant i les copes

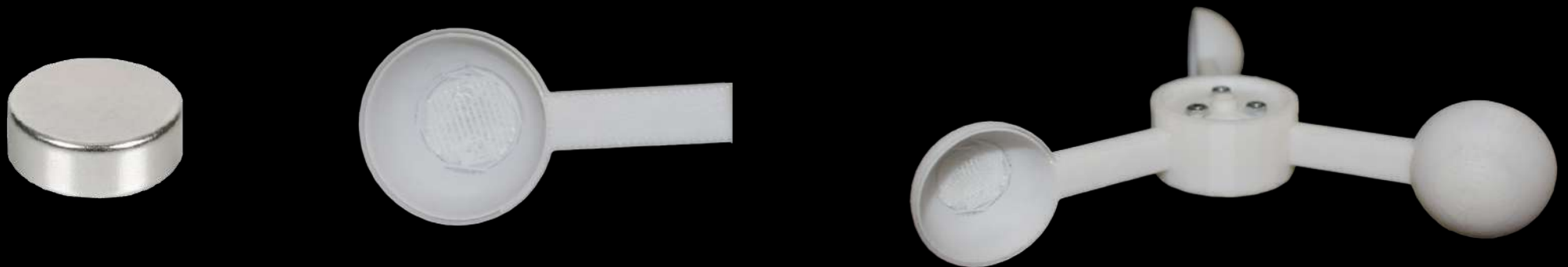


Figura 87. Procés de disseny de la part rotatòria

En tots els anemòmetres de cassoletes és necessari disposar d'un sistema que mesuri la velocitat de gir i, per tant, del vent. Hi ha diferents mètodes per realitzar aquesta lectura, com ara l'ús d'un encoder rotatiu, i en aquest cas, el funcionament es basa en el principi de l'**electromagnetisme** i, més concretament, en l'**efecte Hall**. Aquest fenomen succeeix quan un corrent elèctric pateix directament la força perpendicular d'un camp magnètic (**força de Lorentz**), que genera un voltatge Hall amb l'impuls de les càrregues cap a l'altre costat del conductor.

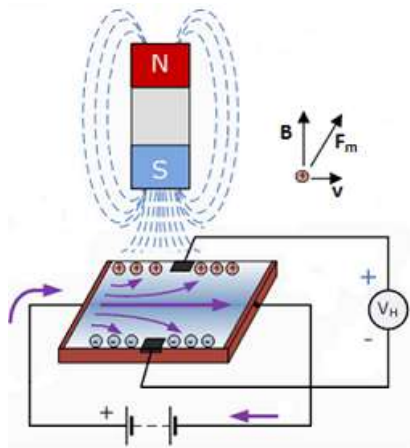


Figura 88. L'efecte Hall i la força de Lorentz

Però, com s'aprofita aquest efecte Hall per a mesurar la velocitat del vent?

Doncs bé, simplement es tracta de fer una lectura digital d'un sensor d'efecte Hall, que actua com a **detector de camps magnètics**, i saber així quan un imant es troba a prop del sensor. D'aquesta forma, amb l'addició a l'anemòmetre d'aquest sensor d'efecte Hall fixat a la part superior i d'un imant (camp magnètic) col·locat en la part rotatòria, és possible calcular el període de gir de les copes de l'anemòmetre i, consegüentment, la velocitat.

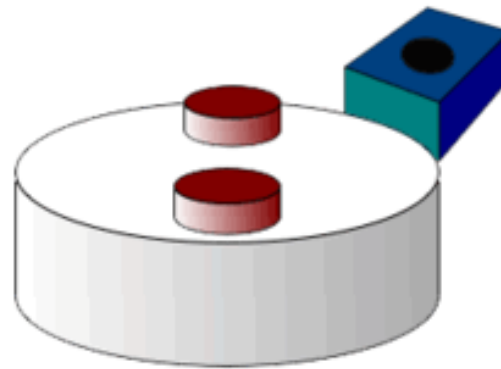


Figura 89. El sensor d'efecte Hall com a detector d'un imant

Arribades a aquestes conclusions, es pot extreure una equació amb un terme independent, el període (**T**), i un terme dependent a aquest, la velocitat (**V**). D'una banda, el període és el temps establert des de que el sensor detecta l'imant fins que el torna a detectar, és a dir, el temps que triga a donar una volta sencera. I d'altra banda, la velocitat és per definició la relació entre el recorregut d'un cos, que és en aquest sentit la longitud de la circumferència, i el període. Per a la circumferència de gir s'agafa com a radi (**R₁**) la posició de l'imant i del sensor, que són uns 13 mil·límetres. Per tant, l'equació de la velocitat en qüestió amb les variables ja definides és la següent (on és expressada en *m/s*):

$$V(T) = \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{T} = \frac{0,026 \cdot \pi}{T}$$

Figura 90. L'equació de la velocitat

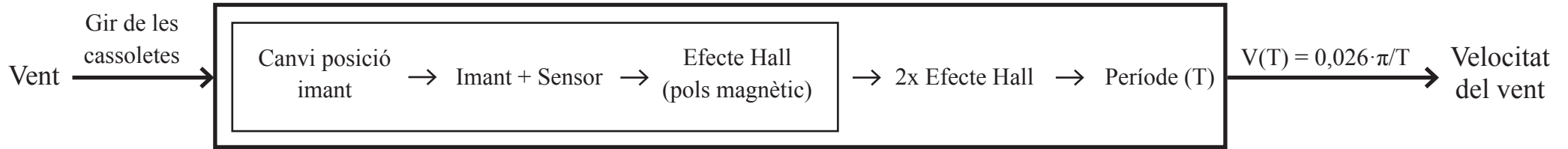


Figura 91. El funcionament de l'anemòmetre

CODI DE PROGRAMACIÓ

```

const float R2 = 0.013;
const float Pi = 3.141592654;
const float L = 2*Pi*R2;
int T1 = 0;
int T2 = 0;
int T3 = 0;
float V = 0;
float Vmax = 0;
int HALL2 = 5;
  
```

```

void setup() {
  pinMode (HALL2, INPUT);
  Serial.begin (9600);
}
  
```

```

void loop() {
  T2 = millis ();
  if (digitalRead (HALL2) == LOW) {
    T3 = (T2 - T1);
  }
  V=L/(T3*0.001);
  if (V > Vmax) {
    Vmax = V;
  }
}
  
```

```

Serial.print ("Velocitat: ");
Serial.print (V);
Serial.print ("m/s");
delay (1000);
T1 = T2;
}
  
```

2.2.2. EL PLUVIÒMETRE

El pluviòmetre és un cilindre buit per dintre que consta d'un embut en la part superior des del qual es recull l'aigua de l'exterior. Una vegada entra dins del propi cilindre per aquest embut, l'aigua cau en una peça oscil·lant muntada sobre un eix rotatori. Aquesta peça de forma triangular, anomenada **balanci**, està dividida amb una barrera (també triangular) per la meitat, de manera que quan s'omple d'aigua una part, l'augment de pes provoca que giri i es comenci a omplir l'altre. L'aigua surt del pluviòmetre per una mena de reixa que es troba

a la part inferior del cilindre i va directament a l'exterior, sense produir-se cap mena d'acumulació.

Per tant, els aspectes per considerar de bon disseny un pluviòmetre que es basi en aquest mecanisme són aquests:

- Embut que porti l'aigua directament a la part central del balanci, sense perdre cap quantitat.
- Capacitat volumètrica d'aigua en el balanci equilibrada, sense permetre ni una gran ni una

molt poca acumulació d'aigua i evitant així els "no girs" o els girs constants del balanci.

- Sistema automàtic de buidatge d'aigua.

A més, per a què hi hagi un funcionament correcte s'ha tingut en compte, a l'hora de dissenyar-lo, que l'espai voltant ha d'estar **lliure d'obstacles en un angle de 45 graus** i no pot estar al mateix nivell d'altres elements per evitar esquitxades.

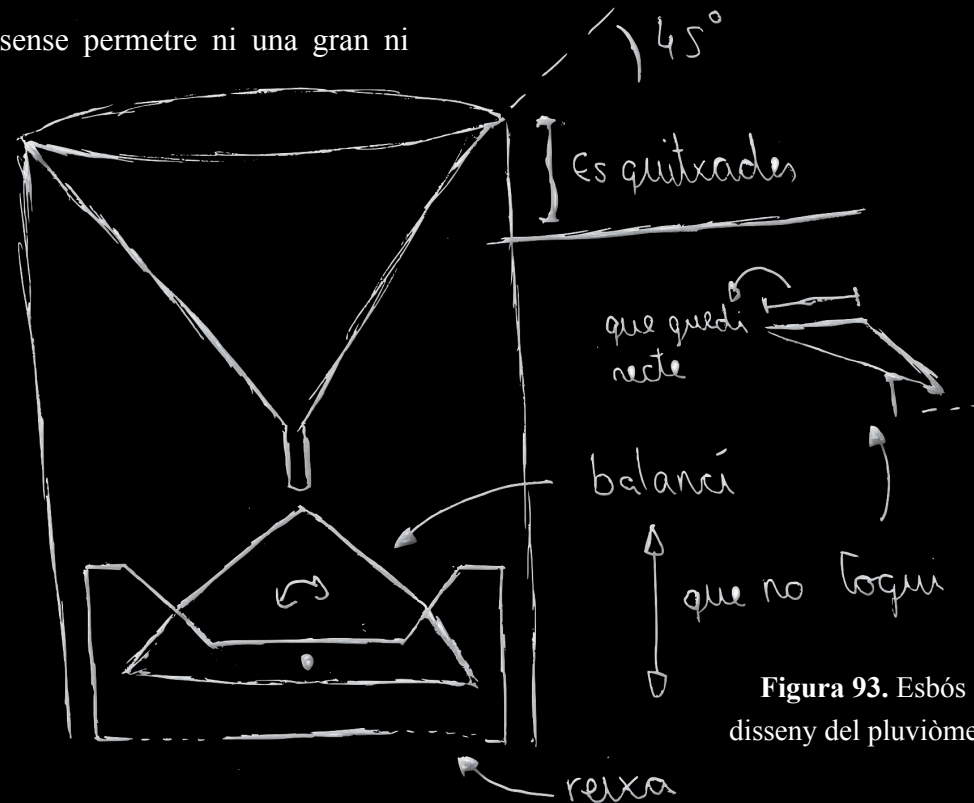


Figura 93. Esbós del disseny del pluviòmetre



Figura 94. L'entrada d'aigua per l'embut



Figura 95. L'interior del pluviòmetre



Figura 96. Reixa de buidatge d'aigua

El principi de funcionament que es fa servir per conèixer la precipitació també és l'**electromagnetisme**. En aquest sentit, quan el sensor detecta un camp magnètic significa que hi ha hagut un balanceig més, degut a la localització de l'imat i del sensor Hall dins del pluviòmetre. L'imat està situat en el vèrtex central del balancí i el sensor Hall es troba al mig del pluviòmetre a l'alçada d'aquest, de manera que quan l'imat passa pel centre es produeix l'efecte Hall.

Per tant, es tracta d'enregistrar el **nombre de basculacions del balancí** que es produeixen, ja

que sabent la quantitat de pluja que cau per cada oscil·lació només cal saber les oscil·lacions que hi ha hagut. Així doncs, l'expressió de la precipitació (**P**) ve donada per la relació entre el volum d'aigua total i la superfície (**S**) de la circumferència de l'embut. Aquest volum d'aigua total és més concretament el producte del nombre de balanceigs (**n**) i el volum d'aigua (**V_a**) que cau en un costat del balancí, així que la variable de la qual depèn la precipitació és *n* i la relació entre *V_a* i *S* és una constant.

$$P(n) = n \cdot \frac{V_a}{S} = n \cdot \frac{3528 \text{ mm}^3}{2209\pi \text{ mm}^2} = 0,5083 \cdot n$$

Figura 97. L'expressió de la precipitació, en *mm*

En aquest pluviòmetre, el volum d'aigua per oscil·lació (**V_a**) és de 3528 mm³ i la superfície de l'embut (**S**) és de 2209π mm², però en altres casos aquesta quantitat pot variar.

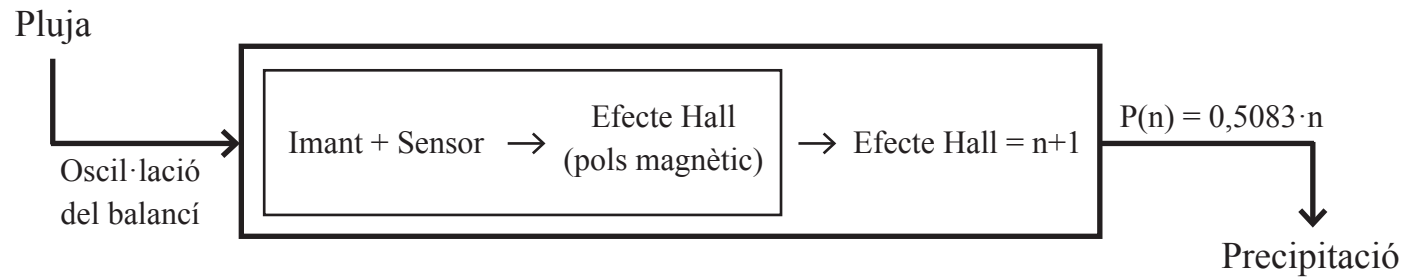


Figura 98. El funcionament del pluviòmetre

CODI DE PROGRAMACIÓ

```

const float K = 0,5083;
int n = 0;
float P = 0;
float Pmax = 0;
int HALL1 = 4;

void setup() {
  pinMode (HALL1, INPUT);
  Serial.begin (9600);
}

void loop() {
  if (digitalRead (HALL1) == LOW) {
    n = n + 1;
  }
  P = n*k
  if (P > Pmax) {
    Pmax = P;
  }
  Serial.print ("Precipitació: ");
  Serial.print (V);
  Serial.print ("mm");
  delay (1000);
}
    
```

2.2.3. EL PENELL

El disseny del penell és semblant al de l'anemòmetre, doncs també està compost per una peça unida al cos de l'estació —que conté el sensor— i una altra giratòria. Aquest cop, però, la unió entre les dues peces es realitza mitjançant l'**eix rodador del sensor** (l'encoder rotatiu), perquè és la manera de calcular la direcció del vent.

Pel que fa al dispositiu giratori, podríem dir que és un **tub allargat, prim i horitzontal**, en el qual es troba a un dels seus costats una estructura vertical, plana i asimètrica. Per permetre una major rotació amb el vent i afavorir així l'**aerodinàmica** de tot aquest element, s'han valorat dos aspectes en el disseny d'aquesta estructura. D'una banda, està formada d'alguna manera per un triangle, que creix des de la part central, i un rectangle, que arriba fins a l'extrem. I d'altra banda, els vèrtexs d'aquestes

figures són eliminats i arrodonits de forma expressa. A més, per compensar el pes d'aquest element, el tub té una major massa pel costat oposat i, per tant, un diferent radi al llarg de la seva longitud. D'aquesta manera, es genera un contrapès que permet al penell estar en equilibri i mantenir el **centre de masses en el punt central**. En aquest punt, hi ha un cilindre que té la funció d'unir les dues peces, amb un altre buit cilíndric intern que permet encaixar l'eix del sensor.

Amb tot, les peculiaritats per a la creació d'un bon penell són les contigües:

- Rotació completa lliure d'obstacles (a **quatre vents**).
- Dispositiu rotatori encaixat correctament al sensor.
- Equilibri de masses al punt cèntric.
- Estructura fina i amb una certa extensió per afavorir l'aerodinàmica del penell.

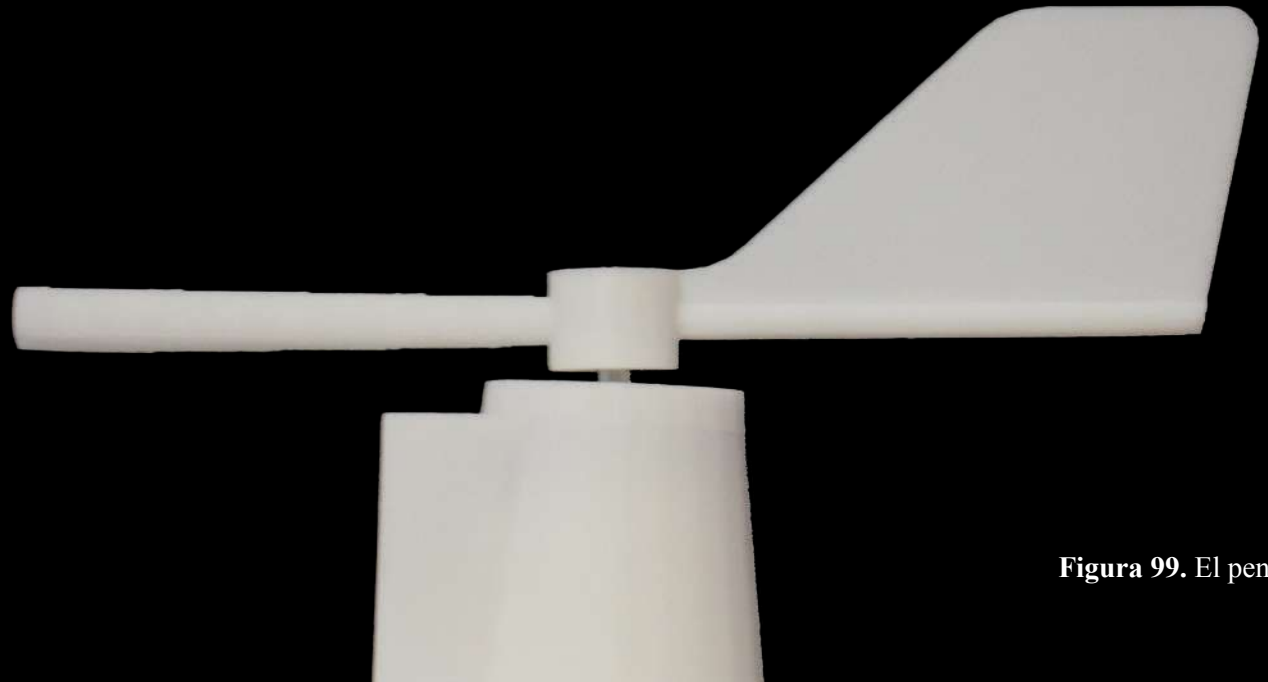


Figura 99. El penell

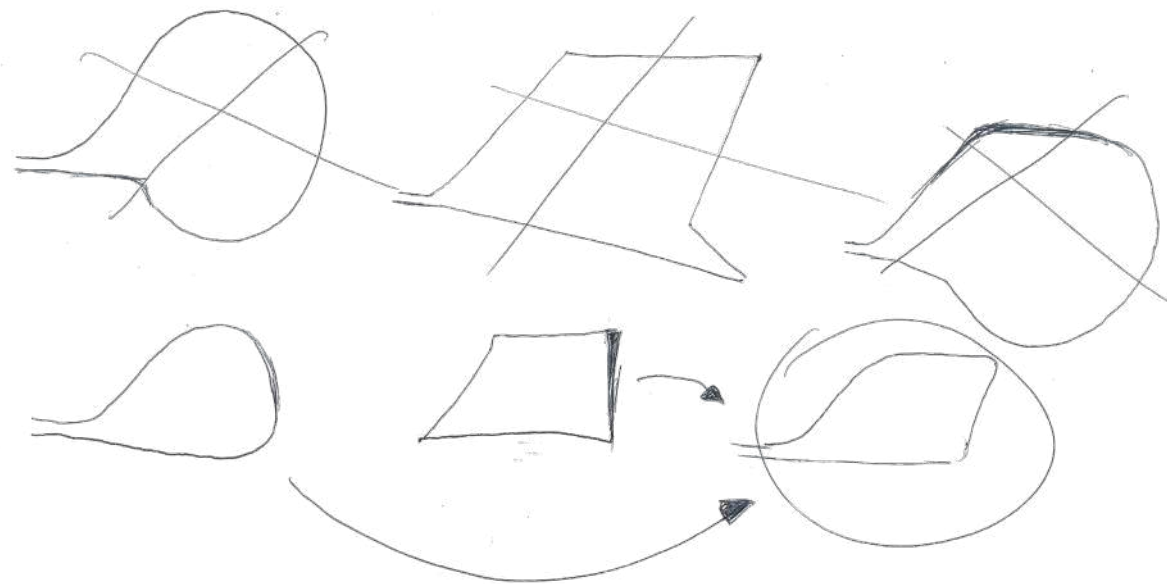
Per a conèixer la direcció del vent es fa servir un **encoder rotatiu** o de quadratura, ja que és l'aparell més útil generalment per a conèixer la direcció de gir o la velocitat angular pel fet de tenir una rotació sense fi.



Figura 101. L'encoder rotatiu

Un encoder és un sensor que genera senyals o polsos elèctrics quan es produeix un canvi en la posició anterior. Sabent que l'encoder té 40 posicions per volta i que una volta signifiquen 360°, podem establir un factor que relaciona les posicions i els graus:

$$\frac{360^\circ}{\text{volta}} \cdot \frac{\text{volta}}{40 \text{ posicions}} = \frac{9^\circ}{\text{posició}}$$



- aerodinàmic ✓
- gran i prim ✓
- no objectes per sota ✓
del pal/tub



Figura 100. Diferents esbossos del penell

S'ha decidit no utilitzar un potenciòmetre ja que aquests tenen només una rotació de 270 graus i queda per tant un angle mort de 90 graus. En canvi, l'encoder té una rotació sense fi.

El penell és el culpable de que l'estació hagi de mirar al nord en una posició concreta, per a què es pugui cal·librar i indiqui la direcció correctament.

CODI DE PROGRAMACIÓ

```
int CLK = 6;
int DT = 7;
int Salt = 0;
int Pos1;
int Pos2;
int Angle = 0;

void setup() {
  pinMode (CLK,INPUT);
  pinMode (DT,INPUT);
  Serial.begin (9600);
  Pos2 = digitalRead(CLK);
}

void loop() {
  Pos1 = digitalRead(CLK);
  if (Pos1 != Pos2){
    if (digitalRead(DT) != Pos1) {
      Salt = Salt + 1;
    }
    else {
      Salt = Salt - 1;
    }
    Serial.print("Angle: ");
    Serial.println(Angle);
    Angle = (Salt*9);
  }

  if (Angle >= 360) {
    Angle = Angle - 360;
  }
  if (Angle < 0) {
    Angle = Angle + 360;
  }

  Pos2 = Pos1;
}
```

2.2.4. EL BARÒMETRE I EL SENSOR DE TEMPERATURA I HUMITAT RELATIVA

Per a mesurar la pressió atmosfèrica es fa servir el sensor **BMP180**, mentre que per a la temperatura i la humitat relativa es fa servir el sensor **DHT11**. Ambdós sensors queden compactats en una mateixa localització dins de l'estació, doncs cap dels dos pot estar exposat directament ni a la radiació solar ni a la precipitació. Aquests dos fenòmens influencien a les seves lectures, de manera que les dades que s'obtenen són incorrectes.

Amb l'objectiu d'evitar una mala lectura i obtenir-ne altres més estandarditzades, els sensors són protegits per l'anomenada **pantalla de Stevenson**. Es tracta d'un refugi envoltat per un abric de persianes que evita l'entrada directa de la llum solar o de la pluja i a la vegada permet que els sensors es trobin en unes condicions similars a l'exterior, ja que hi ha la ventilació habitual d'aire.

En addició informativa, les persianes formen un angle de **45°** amb l'eix horitzontal, la pantalla disposa d'una porta al costat situat al nord i a l'interior hi ha una estructura feta a mida per a encaixar els sensors.

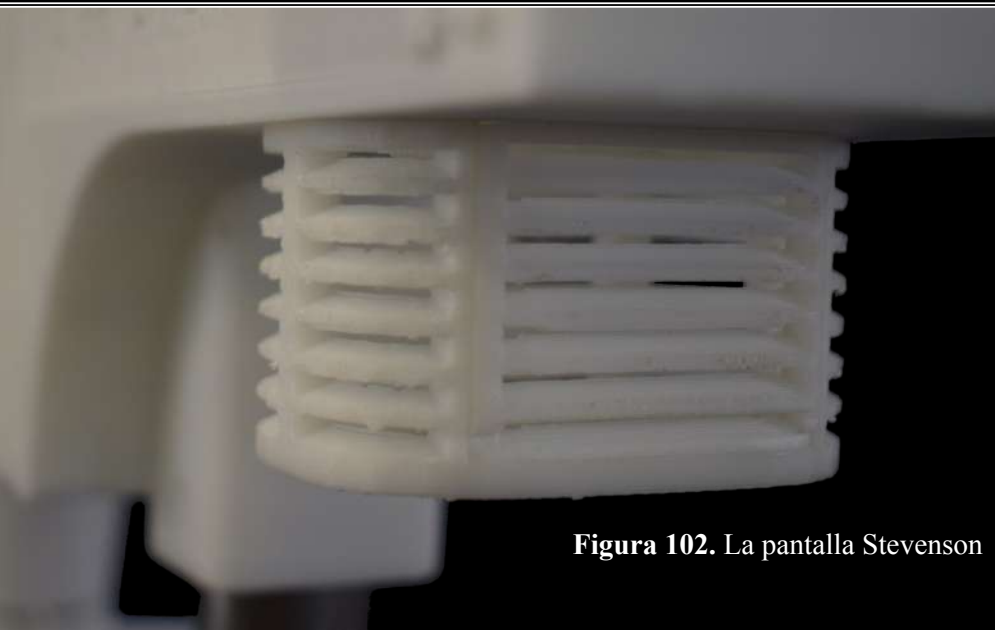


Figura 102. La pantalla Stevenson

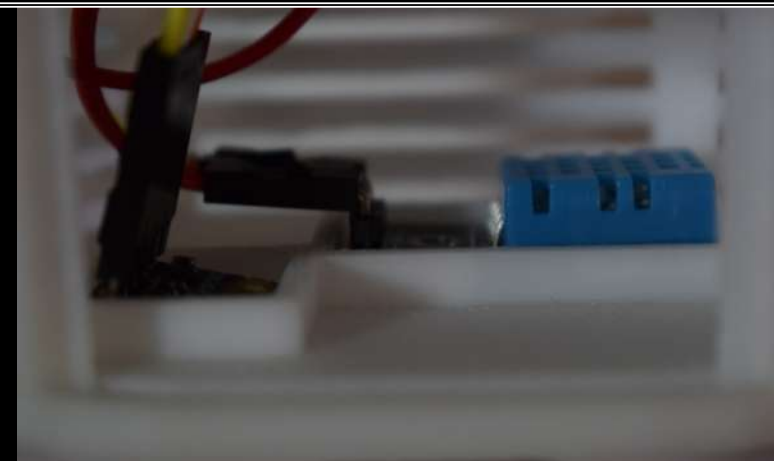


Figura 103. Els sensors BMP180 i DHT11 a l'interior de la pantalla Stevenson

CODI DE PROGRAMACIÓ

□ Temperatura i humitat (DHT11):

```
#include <DHT.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11

DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE);
float h,t;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
}

void loop() {
  h = dht.readHumidity();
  t = dht.readTemperature();

  Serial.print("Humitat: ");
  Serial.print(h);
  Serial.println("%");
  Serial.print("Temperatura: ");
```

```
  Serial.print(t);
  Serial.print("°C");
}
```

□ Pressió atmosfèrica (BMP180):

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>

float Pa;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  Pa = bmp.readPressure();

  Serial.print("Pressió atmosfèrica: ");
  Serial.print(pa);
  Serial.println(" Pa");
}
```

2.3. TRANSMISSIÓ DE LES DADES A INTERNET

Un cop es tenen emmagatzemades les dades a la placa Arduino, s'ha de buscar la manera i el dispositiu necessari per transmetre-les a una base de dades d'Internet que s'actualitzi automàticament cada cert temps. Quina és la tecnologia, però, que permeti realitzar aquesta funció?

2.3.1. INTERNET DE LES COSES (IoT)

Internet de les coses, també coneguda com a *IoT* o *Internet of the Things*, és la xarxa que interconnecta els objectes físics, mitjançant l'ajut d'Internet i fent servir sensors i APIs (*Application Programming Interface*) per fer intercanviar aquestes dades.

Inicialment, el seu ús es limitava a ordinadors, smartphones i tablets, però en els darrers anys ha augmentat el nombre de dispositius connectats,

com per exemple petits i grans electrodomèstics, bombetes, termòstats, videoconsoles o càmeres de vigilància. S'entén com una col·lecció d'objectes il·limitats permanentment connectats en un escenari digital amb la finalitat de que tot sigui intel·ligent gràcies a la gestió de grans quantitats d'informació. Les dades emeses a través de sensors es converteixen en valuosa informació, representant aquest concepte la propera evolució d'Internet. A més, es considera que pot fer la vida més fàcil gràcies a diverses aplicacions tant a nivell individual com col·lectiu.

En el cas d'aquest projecte, on l'objectiu és enviar les dades de la placa Arduino a Internet, es fa servir el mòdul ESP8266.

Aquest mòdul està adaptat especialment per Arduino, ja que permet trobar solucions fàcils a

qualsevol projecte que necessiti connectar-se a un Wifi sense necessitat d'una CPU més complexa i cara.

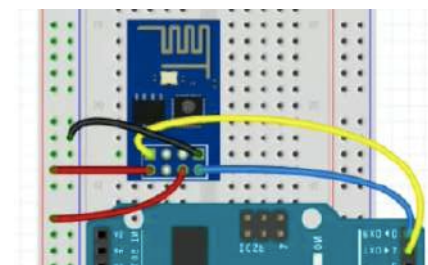


Figura 104. Mòdul ESP8266

L'ESP8266, en aquest cas, connecta l'Arduino amb la plataforma IoT anomenada *Thingspeak*. Aquesta crea canals de sortida que mostren els valors enregistrats a l'estació i dona auto-

màticament el que s'anomena una *API Key*, una clau de codi amb una gran extensió de lletres i nombres que identifica i connecta ambdues parts. El codi de programació és bastant complicat i no s'ha tingut ni el suficient temps ni les suficients capacitats per a poder-lo realitzar un mateix. La informació corresponent utilitzada i que resol el problema d'enviar les dades es troba en la següent referència: Arturo López, Helbert. (29 octubre 2017). Informació extreta de <https://www.youtube.com/watch?v=C5PpMGVVD7c> [26 octubre 2018].

2.4. MAKING-OF

En aquest capítol es mostren els diferents dissenys dels instruments a Tinkercad. A més, en aquesta pàgina es troba el disseny del cos principal de l'estació i de la base, així com una fotografia que il·lustra l'alimentació de la placa Arduino: les piles de liti.



Figura 105. Les piles de liti

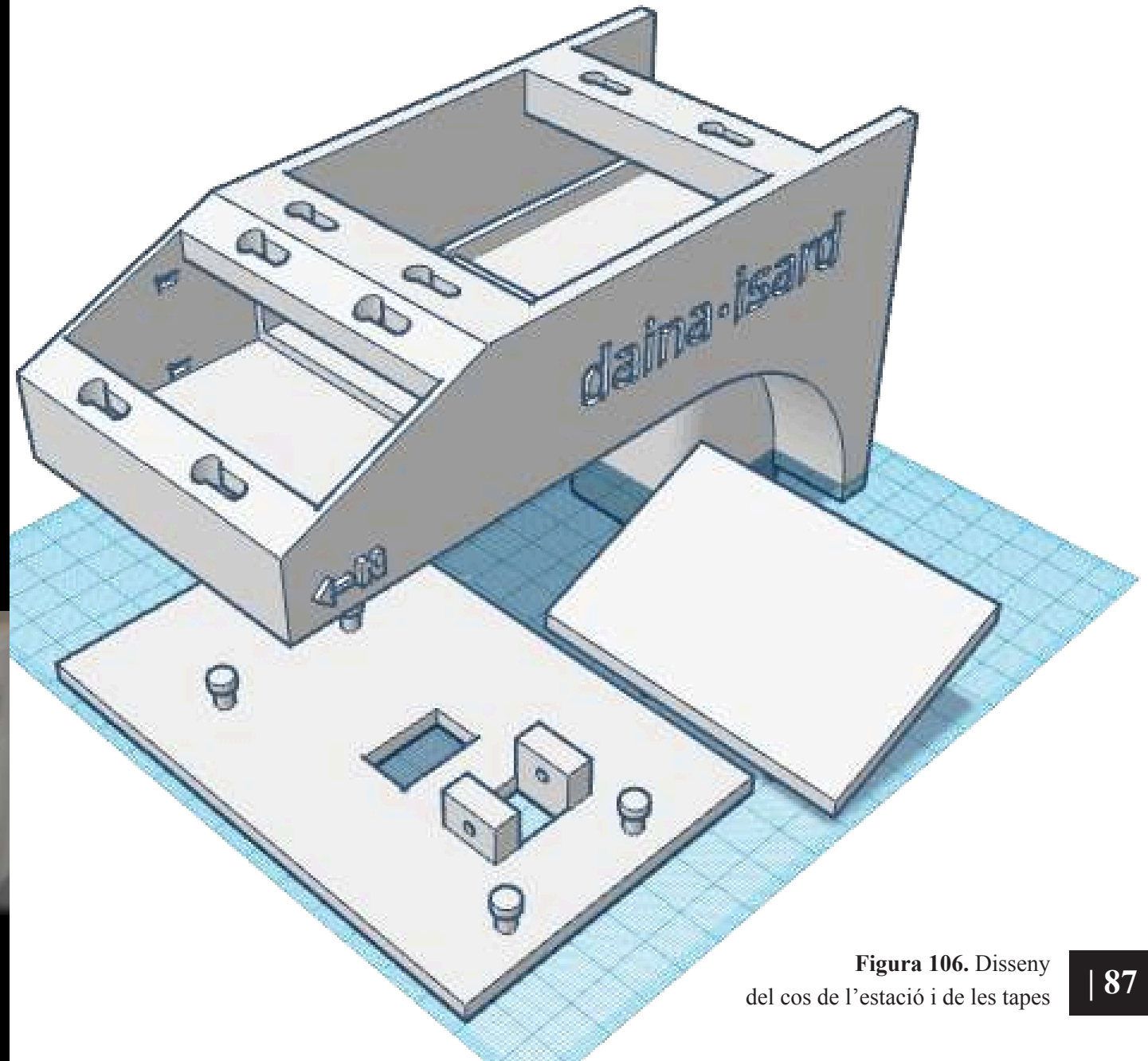


Figura 106. Disseny del cos de l'estació i de les tapes

ANEMÒMETRE

- Part superior, la fixa al cos.
- Part inferior, la rotatòria.
- Eix de gir central.
- Tres copes.

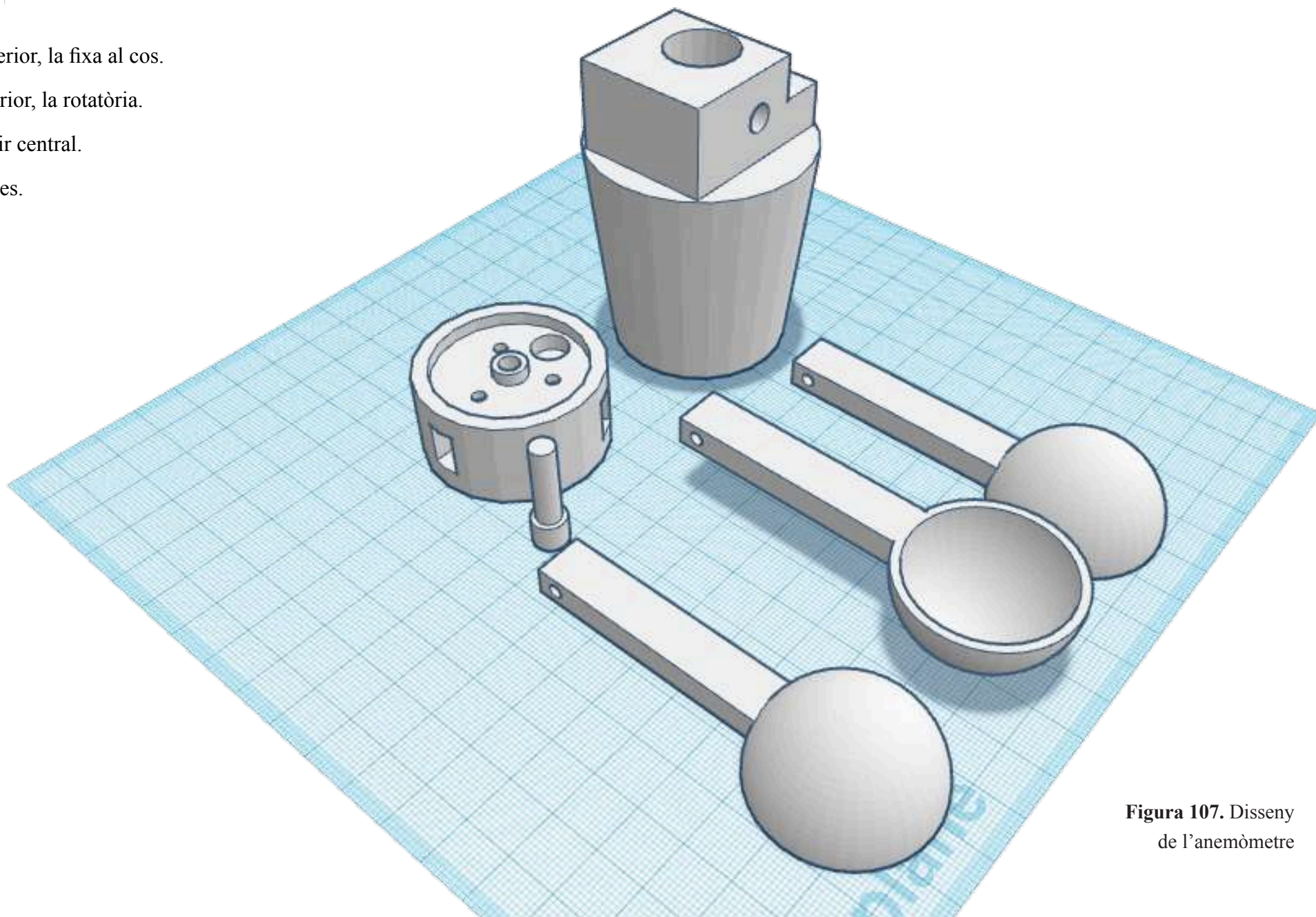


Figura 107. Disseny de l'anemòmetre

PLUVIÒMETRE

- Base.
- Balanci.
- Embut.

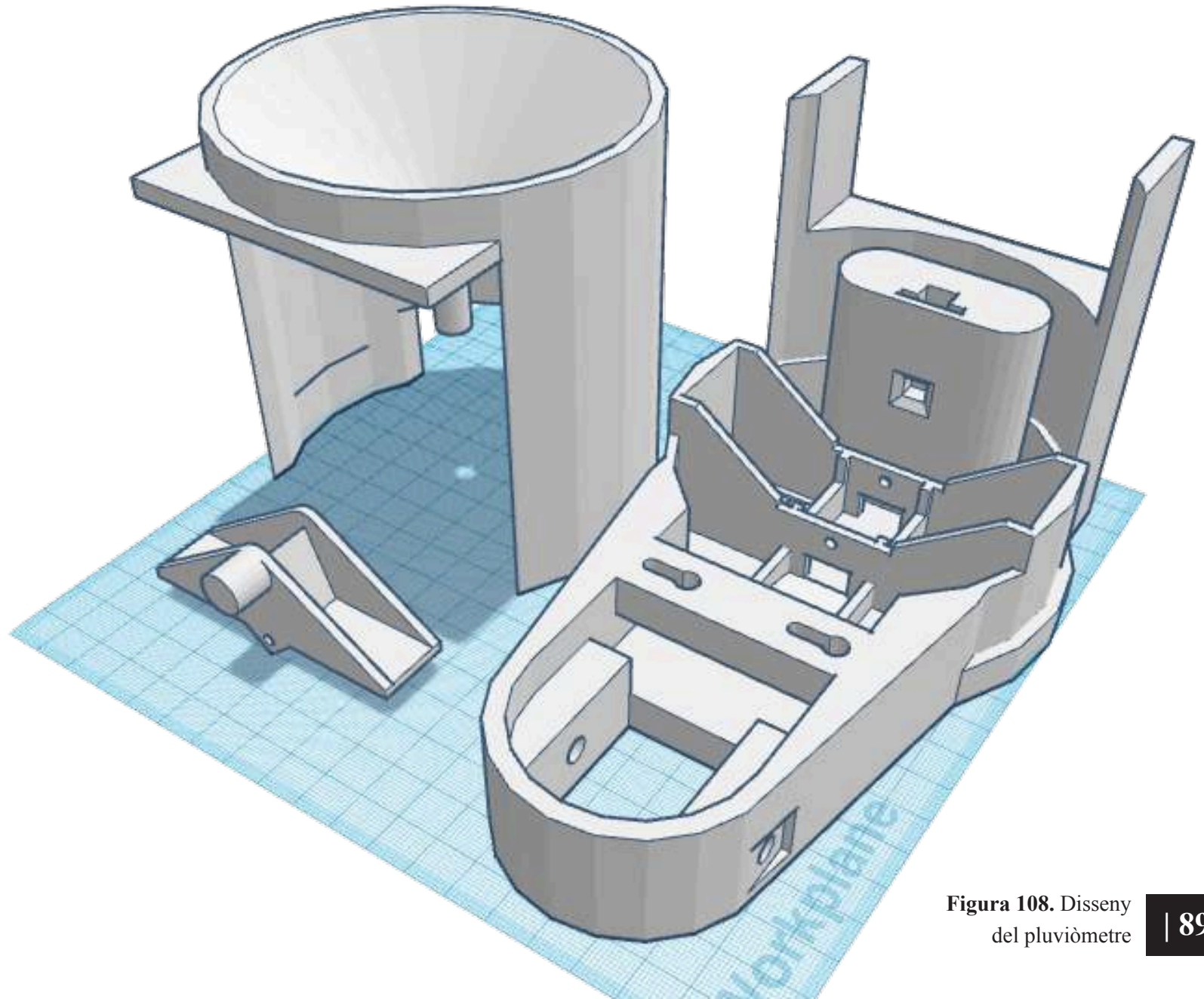


Figura 108. Disseny del pluviòmetre

PENELL

- Base interior per al sensor.
- Base exterior, l'envoltori.
- Tub.
- Estructura plana.

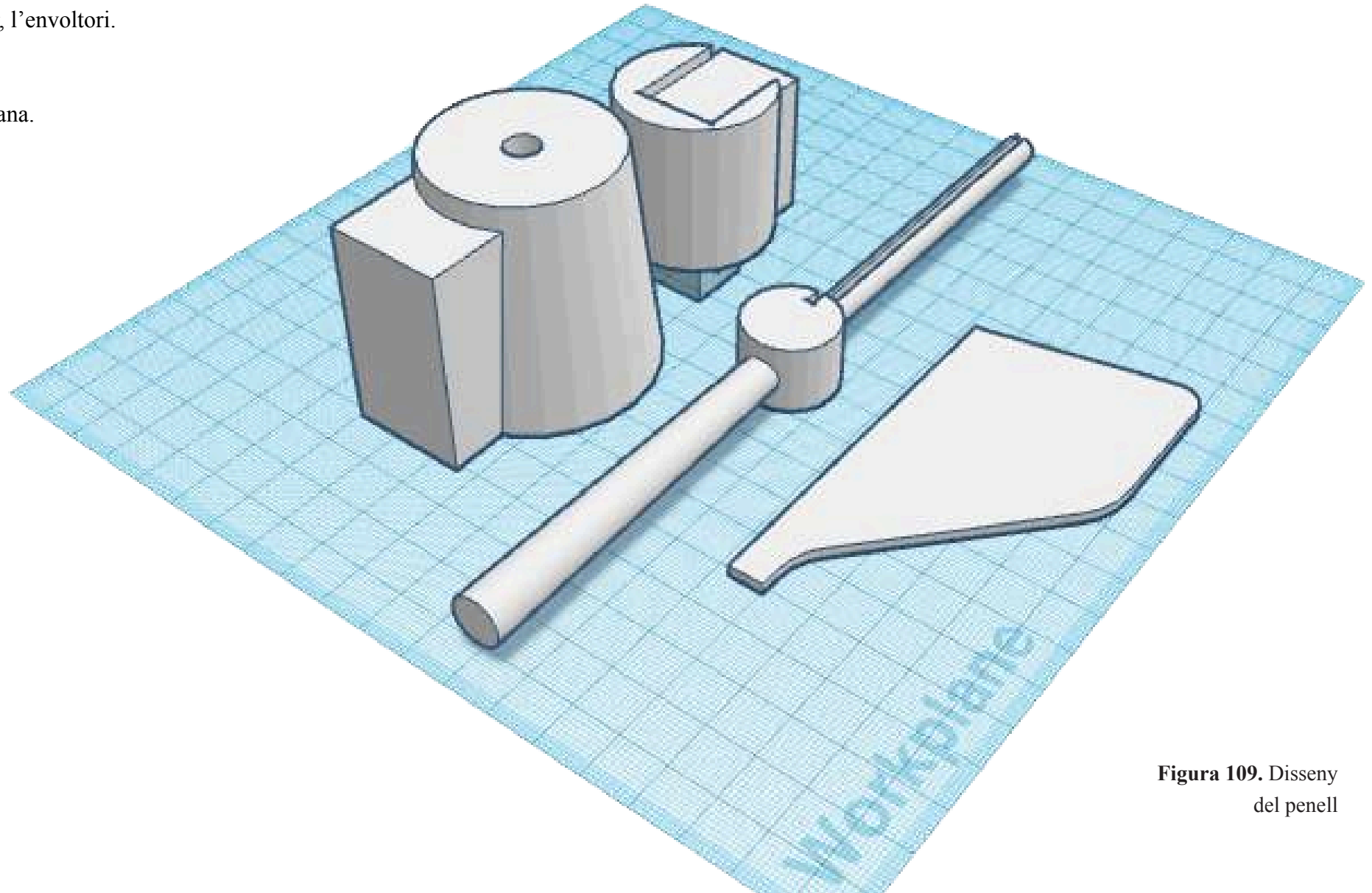


Figura 109. Disseny del penell

BARÒMETRE I SENSOR DE TEMPERATURA I HUMITAT

- Base de la pantalla Stevenson.
- Porta de la pantalla Stevenson.

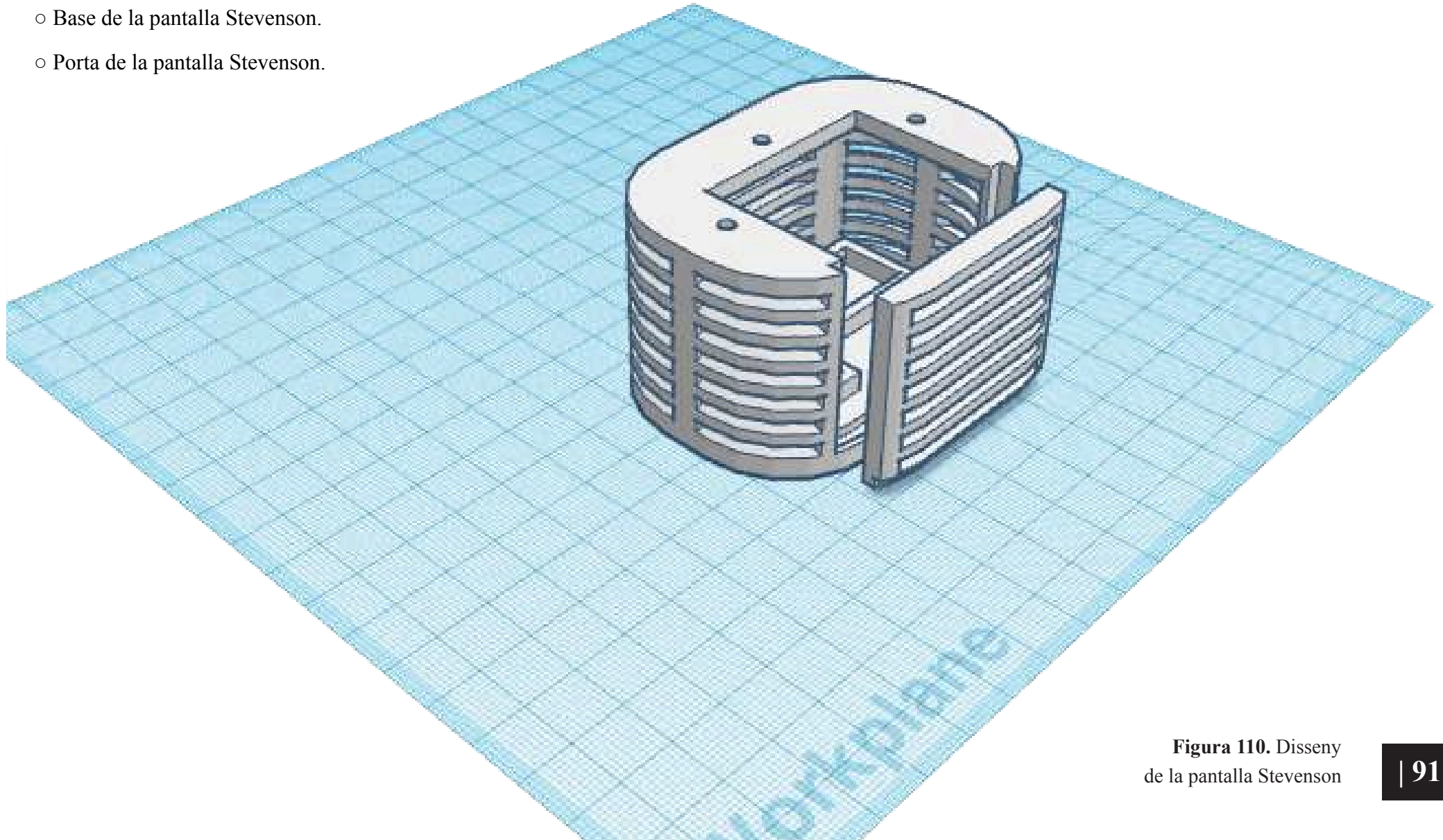


Figura 110. Disseny de la pantalla Stevenson

ELEMENTS EXTRES

- Base central, unida amb l'estació amb un tub de metall cilíndric.
- Tapa superior a l'anemòmetre.

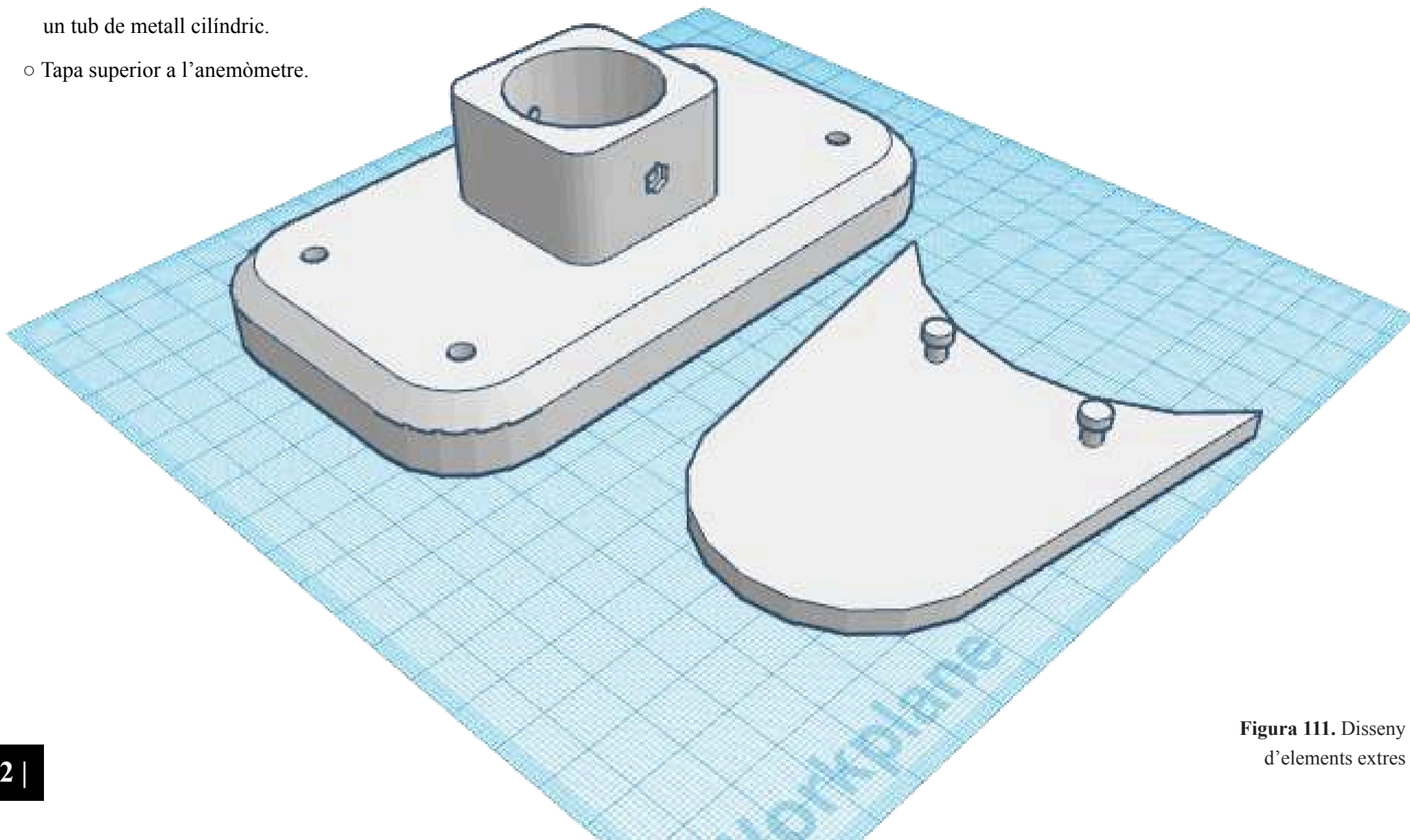


Figura 111. Disseny d'elements extres

CONCLUSIONS

Acabar el treball de recerca i poder veure un resultat final que el defineixi suposa una satisfacció plena i personal que sóc incapaç de definir. Emperò, les coses per arribar fins al final no han estat gens fàcils i és que la vida mai les posa fàcils.

Vida. Suposo que és aquesta la paraula que millor defineix el meu projecte. Des d'escriure la primera idea al trobar-me amb el full en blanc fins aquests últims instants, ha estat com si una nova ànima hagués nascut en mi. Una ànima racional que ha passat per diferents alts i baixos, però que ha anat descobrint poc a poc nous mons, com són el de la meteorologia, el del disseny, el de la programació o el de l'*IoT*, amb una voluntat material, la de desenvolupar des de zero una estació meteorològica automàtica, però també amb una personal, la de competir al màxim contra ella mateixa.

És precisament aquesta voluntat anímica el que primordialment he necessitat per arribar a la meta. I és que per molt que hi hagi episodis on l'esforç diari sembli ser un camí pel desert inacabable, on els objectius plantejats semblin quedar molt lluny, tots els fruits arriben si hi ha dedicació. D'aquesta manera, el treball és una evolució que va des de les arrels fins als fruits, des de les idees fins a les idees materialitzades, des del disseny fins a la producció, des del principi de funcionament fins a la programació; des de la meteorologia fins a *Meteoscopi*.

Enigma. Adopto aquesta paraula per definir la meteorologia com un món problemàtic que es troba esqueixat entre dues realitats: com a món físic i matemàtic, on tot fenomen és predible, i com a món caòtic, on res es pot fer per preveure el

temps. Així doncs, la meteorologia es pot entendre com a misteriosa, enigmàtica.

A nivell personal, el treball m'ha suposat un punt d'inflexió en tots els seus sentits. En primera instància, m'emporto una autoavaluació de la meva millor capacitat per a realitzar un treball. En segon lloc, he pogut viure experiències úniques a l'estar en contacte amb gent aficionada i experta en la meteorologia, establint converses agradables amb tots ells i sense trobar l'hora de marxar d'aquelles reunions programades. Des d'aquí, m'agradaria agrair a l'Enric, a l'Eloi i a l'Eliseu el seu temps dedicat. A més a més, el fet de treballar amb tants entorns de treball i diferents àmbits m'ha proporcionat un grau més de coneixement i pensament crític envers la temàtica. I finalment, el Treball de Recerca m'ha ajudat a acabar

d'orientar quasi definitivament els meus estudis universitaris, cap a la física, l'enginyeria física o la matemàtica.

A nivell de resultats, considero que les úniques pinzellades que han faltat per a obtenir la perfecció han estat la d'establir una localitat per a l'estació i

la de crear una base de dades i una pàgina web per mi mateix que rebi la informació meteorològica automàticament. Aquests punts queden oberts per possibles noves investigacions, però en un pròxim termini intentaré acabar-los per mi mateix, com a repte personal.

Així doncs, *Meteoscopi* no està acabat tal i com jo voldria que estigués, però ara és el moment de posar punt i final a aquestes pàgines i executar tota la feina realitzada: **ara és el començament pràctic de *Meteoscopi*.**



TAULA DE FIGURES

FIGURA 1. Escacs.....	13	FIGURA 19. Variació de la temperatura en funció de l'alçada.....	29
FIGURA 2. La Terra des de l'Espai.....	16	FIGURA 20. Les capes de l'atmosfera.....	30
FIGURA 3. L'atmosfera.....	19	FIGURA 21. Inclinació dels raigs solars.....	31
FIGURA 4. Representació del vulcanisme.....	20	FIGURA 22. Variació de la pressió atmosfèrica en funció de l'alçada.....	32
FIGURA 5. Les reaccions a l'hidrosfera.....	21	FIGURA 23. Diferents masses d'aire.....	32
FIGURA 6. Les reaccions del ferro a l'hidrosfera.....	22	FIGURA 24. Fronts atmosfèrics.....	33
FIGURA 7. Procés de la fotosíntesi.....	23	FIGURA 25. Front fred.....	33
FIGURA 8. Formació d'ozó a l'atmosfera.....	23	FIGURA 26. Front càlid.....	33
FIGURA 9. Evolució de les espècies.....	24	FIGURA 27. Front oclús.....	33
FIGURA 10. Contaminació atmosfèrica.....	24	FIGURA 28. Transmissió de calor entre l'atmosfera i la superfície durant el dia.....	35
FIGURA 11. Concentració en volum dels gasos a l'atmosfera.....	25	FIGURA 29. La humitat.....	35
FIGURA 12. Classificació dels gasos.....	26	FIGURA 30. Anticiclons i depressions.....	36
FIGURA 13. Concentració del CO ₂ atmosfèric, en ppm.....	27	FIGURA 31. La rosa dels vents.....	37
FIGURA 14. Comparativa de la capa d'ozó entre els anys 1979 i 2008.....	27	FIGURA 32. Escala Beaufort.....	37
FIGURA 15. El cilce de l'aigua.....	27	FIGURA 33. Termòmetre.....	38
FIGURA 16. Aerosol atmosfèric.....	28	FIGURA 34. Higròmetre.....	38
FIGURA 17. Classificació dels aerosols.....	28	FIGURA 35. Psicròmetre.....	38
FIGURA 18. Els motors tèrmics com a emissors d'òxids de nitrogen.....	28		

FIGURA 36. Baròmetre de mercuri.....	38	FIGURA 55. Galileu.....	56
FIGURA 37. Baròmetre aneroid.....	39	FIGURA 56. Termòmetre de Galileu.....	56
FIGURA 38. Penell.....	39	FIGURA 57. Torricelli.....	56
FIGURA 39. Anemòmetre d'empenta.....	39	FIGURA 58. Experiment de Torricelli.....	56
FIGURA 40. Anemòmetre de compressió.....	40	FIGURA 59. Alberti.....	57
FIGURA 41. Anemòmetre de cassoletes.....	40	FIGURA 60. Anemòmetre da Vinci.....	57
FIGURA 42. Pluviòmetre convencional.....	40	FIGURA 61. Amontons.....	57
FIGURA 43. Heliògraf.....	40	FIGURA 62. Higròmetre d'Amontons.....	57
FIGURA 44. Garita meteorològica.....	41	FIGURA 63. Saussure.....	57
FIGURA 45. L'Enric Gili.....	42	FIGURA 64. Higròmetre de cabell.....	57
FIGURA 46. L'Enric i l'autor, als carrers d'Esparreguera.....	43	FIGURA 65. Radiosondatge.....	59
FIGURA 47. L'Eloi Cordoní.....	47	FIGURA 66. Satèl·lit <i>Meteosat</i>	59
FIGURA 48. L'Eloi Cordoní i l'autor, als estudis de TV3.....	50	FIGURA 67. Estació meteorològica automàtica.....	60
FIGURA 49. Les societats caçadores-recol·lectores.....	51	FIGURA 68. Control de qualitat d'una EMA.....	60
FIGURA 50. El Déu Zeus sostenint el llampec.....	52	FIGURA 69. L'Eliseu Vilaclara.....	61
FIGURA 51. Primeres societats agrícoles.....	53	FIGURA 70. L'Eliseu i l'autor, a les oficines del Servei Meteorològic de Catalunya.....	62
FIGURA 52. Els cultius als marges del riu Nil.....	53	FIGURA 71. Perspectiva completa de l'estació meteorològica <i>Meteoscopi</i>	64
FIGURA 53. Aristòtil.....	54	FIGURA 72. Tauler de disseny a la pàgina web de Tinkercad.....	67
FIGURA 54. El telescopi, inventat per Galileu.....	55		

FIGURA 73. Entorn de programació d'Arduino.....	68	FIGURA 93. Esbós del disseny del pluviòmetre.....	77
FIGURA 74. Placa Arduino UNO.....	68	FIGURA 94. L'entrada d'aigua per l'embut.....	78
FIGURA 75. Impressora 3D Tiertime UP Box+.....	69	FIGURA 95. L'interior del pluviòmetre.....	78
FIGURA 76. L'extrusor d'una impressora.....	69	FIGURA 96. Reixa de buidatge d'aigua.....	78
FIGURA 77. Descàrrega de l'arxiu a Tinkercad.....	70	FIGURA 97. L'expressió de la precipitació, en <i>mm</i>	78
FIGURA 78. L'aplicació Up Studio amb la peça a punt per a imprimir.....	70	FIGURA 98. El funcionament del pluviòmetre.....	78
FIGURA 79. La peça imprimint-se en 3D a l'Escola.....	70	FIGURA 99. El penell.....	80
FIGURA 80. Extracció manual del plàstic innecessari.....	70	FIGURA 100. Diferents esbossos del penell.....	81
FIGURA 81. <i>Meteoscopi</i> , l'estació meteorològica.....	71	FIGURA 101. L'encoder rotatiu.....	81
FIGURA 82. Esbós inicial del disseny exterior de l'estació.....	72	FIGURA 102. La pantalla Stevenson.....	83
FIGURA 83. Esbós del penell- anemòmetre sobre un mateix eix.....	72	FIGURA 103. Els sensors BMP180 i DHT11 a l'interior de la pantalla Stevenson.....	83
FIGURA 84. Esbós del disseny de l'anemòmetre.....	73	FIGURA 104. Mòdul ESP8266.....	85
FIGURA 85. L'anemòmetre.....	73	FIGURA 105. Les piles de liti.....	87
FIGURA 86. Procés de disseny de la part superior.....	74	FIGURA 106. Disseny del cos de l'estació i de les tapes.....	87
FIGURA 87. Procés de disseny de la part rotatòria.....	74	FIGURA 107. Disseny de l'anemòmetre.....	88
FIGURA 88. L'efecte Hall i la força de Lorentz.....	75	FIGURA 108. Disseny del pluviòmetre.....	89
FIGURA 89. El sensor d'efecte Hall com a detector d'un imant.....	75	FIGURA 109. Disseny del penell.....	90
FIGURA 90. L'equació de la velocitat.....	75	FIGURA 110. Disseny de la pantalla Stevenson.....	91
FIGURA 91. El funcionament de l'anemòmetre.....	76	FIGURA 111. Disseny d'elements extrems.....	92
FIGURA 92. El pluviòmetre.....	77		

FONTS DOCUMENTALS

BRETO, ELCIA. (2013). *Climatología i meteorología*. Recuperat de <http://www.di.ugto.mx/gestiona/descargas/1Apuntes-climatologia%20y%20meteorologia%20-%202013.pdf> [19 juny 2018].

STUDOCU. (sense data). *Apuntes Meteorología y Climatología: Tema 1 Composición de la atmosfera - Tema 4 La estabilidad atmosférica*. Recuperat de <https://www.studocu.com/es/document/uned/meteorologia-y-climatologia/apuntes/apuntes-meteorologia-y-climatologia-tema-1-composicion-de-la-atmosfera-tema-4-la-estabilidad-atmosferica/176572/view> [20 juny 2018].

BARZANALLANA, RAFAEL. (27 setembre 2016). *Edward Lorenz, padre de la Teoría del Caos y el Efecto Mariposa*. Recuperat de <https://www.um.es/docencia/barzana/BIOGRAFIAS/Biografia-Edward-Lorenz.php> [6 juny 2018].

ESCOLA PORT, AULA NÀUTICA. (sense data). *9. METEOROLOGÍA*. Recuperat de <http://aulanautica.org/unidad/9-meteorologia/> [3 juliol 2018].

DIVULGA METEO. (data). *Traducción de Los Meteorológicos de Aristóteles en el Toledo del siglo XII*. Recuperat de <http://divulgameteo.es/uploads/Meteorol%C3%B3gica-Arist%C3%B3teles.pdf> [4 juliol 2018].

SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA. (13 març 2017). *La predicció meteorològica*. Recuperat de <http://www.meteo.cat/wpweb/divulgacio/la-prediccion-meteorologica/> [12 juliol 2018].

NECCO CARLOMAGNO, GUSTAVO. (2016). *Taller de Introducción a las Ciencias de la atmosfera*. Recuperat de <https://docplayer.es/27908699-Taller-de-introduccion-a-las-ciencias-de-la-atmosfera-primer-semester-2016-gustavo-v-necco-carlomagno-imfia-fing-if-fcien.html> [21 juny 2018].

RECURSOS TIC. (sense data). *La atmósfera terrestre*. Recuperat de http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/EDAD_1eso_05_la_atmosfera/contenido/1q5/pdf/quincena5.pdf [19 juny 2018].

- ANDRADES, MARISOL; MÚÑEZ, CARMEN. (2012). *Fundamentos de la climatología*. Recuperat de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/267903.pdf> [23 juliol 2018].
- RODRÍGUEZ, ROSA MARIA; BENITO, AGUEDA; PORTELA, ADELAIDA. (2004). *Meteorología y climatología*. Recuperat de <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf> [19 juny 2018].
- BENITO, DANI. (17 setembre 2017). *Presión Atmosférica: ¿Qué son Anticiclones y Borrascas?*. Recuperat de <https://lariojameteo.es/2017/09/presion-atmosferica-que-son-anticiclones-y-borrascas/> [9 juliol 2018].
- GRUP SEGRE. (1 octubre 2016). *Què són els fronts oclusos*. Recuperat de <https://www.segre.com/el-consultemps/article/que-son-els-fronts-occlusos/> [23 juliol 2018].
- BIDEGAIN, MARIO. (2010). *Masas de aire y frentes*. Recuperat de http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/TIM/teorico_tim/Masas%20Aire%20TIM.pdf [23 juliol 2018].
- PASCUAL, JOSÉ LUIS. (Gener 2009). *Breve introducción a la historia de la meteorología antigua*. Recuperat de <http://www.divulgameteo.es/uploads/Meteorolog%C3%ADa-Antigua.pdf> [29 juliol 2018].
- GONZÁLEZ, RUBÉN. (1 agost 2005). *Formación y evolución de la atmósfera terrestre*. Recuperat de http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/66_cienciorama.pdf [4 setembre 2018].
- SÁNCHEZ, JOSE ANTONIO. (25 febrer 2013). *La atmósfera: el aire vivo de la Tierra - Formación*. Recuperat de <https://sites.google.com/site/atmosferrest/formacion> [7 setembrel 2018].
- GRUP SANT JOAN. (2013). *¿Qué es la meteorología?*. Recuperat de <https://lageografiaweb.blogspot.com/2013/07/que-es-la-meteorologia.html> [8 setembre 2018].
- GINÉS, JOAN. (2011). *Construcció d'una estació meteorològica amb Picaxe*. Recuperat de https://www.edubcn.cat/rsc_gene/treballs_recerca/2010-2011-01-1-TR.pdf [8 setembre 2018].

PALOMARES, MANOLO. (sense data). *Breve historia de la meteorología*. Recuperat de https://www.aemet.es/documentos/es/conocenos/nuestra_historia/breve_historia_meteorologia.pdf [14 setembre 2018].

SABELOTODO. (sense data). *Los anemómetros*. Recuperat de <http://www.sabelotodo.org/aparatos/anemometro.html> [15 setembre 2018].

RAIG. (28 octubre 2016). *Barómetros y presión atmosférica*. Recuperat de <https://www.raig.com/noticias/barometros-y-presion-atmosferica> [23 juliol 2018].

ÀREA DE CLIMATOLOGIA SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA. (Juny 2011). *LES ESTACIONES METEOROLÒGIQUES AUTOMÀTIQUES (EMA)*. https://static-meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2014/11/18120559/Les_Estacions_XEMA.pdf Recuperat de [21 octubre 2018].

PALAZZESI, ARIEL. (14 agost 2010). *El termómetro de Galileo*. Recuperat de <https://www.neoteo.com/el-termometro-de-galileo/> [23 octubre 2018].

PAREDES, PEDRO. (Setembre 2012). *Construcción de un instrumento virtual para medir la dirección del viento, utilizando LabVIEW 8.0 y como sensores una veleta mecánica y un potenciómetro de precisión*. . Recuperat de <https://www.uns.edu.pe/recursos/investigaciones/93.pdf> [6 maig 2018].

GUASCH, JOSEP MARIA. (Setembre 2015). *Diseño de una torre de medición de viento para auditoría de recurso eólico*. Recuperat de <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/2330pub.pdf> [24 maig 2018].

TOBAJAS, ALBERTO; LÓPEZ, ALEIX; MONZO, CARLOS. (9 juny 2016). *Diseño e implementación de una estación meteorológica con Raspberry Pi*. Recuperat de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/52761/1/atobajasTFM0616memoria.pdf> [11 octubre 2018].

GÓMEZ, LUIS ALFREDO. (Març 2013). *Diseño y construcción de un data logger multiparámetro con comunicación vía internet*. Recuperat de <https://docplayer.es/7653217-Diseno-y-construccion-de-un-data-logger-multiparametro-con-comunicacion-via-internet.html> [15 octubre 2018].

ESCRIBANO, JOSE. (2016). *Implementación de una estación meteorológica con Arduino*. Recuperat de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77955/ESCRIBANO%20-%20Implementaci%C3%B3n%20de%20una%20estaci%C3%B3n%20meteorol%C3%B3gica%20con%20Arduino.pdf?sequence=1>

[19 setembre 2018].

METEOSCOPI

2018

Ivan Casanovas Rodríguez