

# ESTUDI DEL FENOMEN SOLSTICIAL D'HORTA DE SANT JOAN



**Nom: Sergi Alcoverro Poch**

**Tutor: Fernando Chavarria Fores**

**Curs: 2020-21**



**Institut Terra Alta**  
**Treball de Recerca**

**TÍTOL DEL TREBALL DE RECERCA:** Estudi del fenomen solsticial d'Horta de Sant Joan

**AUTOR/A:** Sergi Alcoverro Poch

**TUTOR/A:** Fernando Chavarria Fores

**CURS ACADÈMIC:** 2020-21

Segons l'ordenació dels ensenyaments de batxillerat, tot l'alumnat ha de fer un treball de recerca tutoritzat per professorat del centre. Aquest treball, que ha de contribuir decisivament a assolir la competència en recerca, es computa entre les matèries de segon curs. La propietat del treball de recerca correspon a l'autor/a conjuntament amb el Departament d'Ensenyament.

Atesa aquesta propietat compartida, autoritzo a l'Institut Terra Alta a dipositar aquest treball a la Biblioteca del Centre amb les finalitats de facilitar la preservació i la difusió de la recerca. El treball estarà a disposició pública, accessible com a font de consulta per altres alumnes i professorat, seguint les normes pròpies del centre.

De la mateixa manera, em comprometo a fer constar el nom del Centre i del tutor/a, així com el curs acadèmic, en el cas que en faci difusió per qualsevol mitjà o qualsevol tipus d'ús.

Gandesa, 18 de Desembre de 2020

Signatura

*Vull agrair la implicació des del principi del meu tutor, Fernando Chavarria, perquè sense ell aquest treball no hagués sigut possible, i també l'ajuda de Salvador Carbó.*

## ABSTRACT

**(Castellà):** En este trabajo he analizado y estudiado el fenómeno solsticial que sucede en el núcleo antiguo de la población de Horta de Sant Joan. Durante un plazo de días anteriores y posteriores al solsticio de verano, al despuntar el día, los rayos de sol pasan por una separación entre dos edificios y hacen un movimiento que finalmente estos acaban atravesando los porches de la Plaça de l'Església y se enfocan en un punto concreto de otro edificio.

En primer lugar he hecho un estudio histórico, de tipo descriptivo, para conocer los orígenes de los edificios implicados al fenómeno. Cabe destacar que los tres edificios son antiguos y guardan una relación simbólica ya que están relacionados con el tema religioso.

En segundo lugar he hecho un estudio astronómico y matemático, observando y haciendo un seguimiento del evento, y finalmente un estudio matemático y trigonométrico de éste con la correspondiente corrección de datos. Todo ello, con la intención para poder intentar dar una respuesta a la hipótesis formulada, si es un fenómeno intencionado y provocado o en cambio, ha sido una casualidad extraordinaria.

Durante el trabajo he ido descubriendo varios hechos, los cuales más que ayudarme a llegar hasta una idea, me ha abierto más interrogantes todavía. Como por ejemplo el hallazgo único de un sol antropomórfico a un arco de vuelta a la Iglesia, lo que puede tener una cierta relación con el fenómeno.

En conclusión, no hemos obtenido una respuesta clara a la hipótesis inicial, pero tenemos indicios y suposiciones para que la decisión pueda decantarse para cualquiera de los dos lados.

**(Anglès):** In this study I have analysed and studied the solstice phenomenon that happens at the old zone in the town of Horta de Sant Joan. During a range of days before and after the summer solstice, when the dawn comes by, the sun rays pass through a separation between two buildings, and make a move that finally ends up crossing the porches of the Plaça de l'Església and focus on a specific point in another building.

First of all I have done a historical study, of a descriptive type, to know the origins of the buildings involved in the phenomenon. It should be highlighted that the three buildings are old and have a symbolic relationship as they are related to the religious issue.

Secondly, I carried out an astronomical and mathematical study, observing and checking the event. And finally, a mathematical and trigonometric study with the corresponding data correction. All this, with the intention of trying to respond to the hypothesis formulated, if it is an intentional and caused phenomenon, or it is an extraordinary coincidence.”

During the work I have been discovering several facts, but they have opened more questions, rather than helping me come up with an idea. For example, the unique finding of a single anthropomorphic in an arc of the church, which may have a certain relation to the phenomenon.

In conclusion, we have not obtained a clear answer to the initial hypothesis, but we have indications and assumptions so that the decision can be decided for any on both sides.

# ÍNDEX

Introducció .....	2
1. Estudi històric i urbanístic .....	5
1.1 Descripció del fenomen.....	5
1.2. Origen dels edificis implicats.....	8
1.2.1 Església de Sant Joan Baptista.....	8
1.2.2 Racó de les Grases.....	11
1.2.3 Casa de Don Pedro .....	13
1.3 Conclusions de l'estudi històric dels edificis implicats.....	15
2. Estudi astronòmic i matemàtic del fenomen .....	17
2.1 Observació del fenomen .....	17
2.2 Importància dels solsticis .....	20
2.3 Exemples de fenòmens solars coneguts .....	22
2.4 Explicació matemàtica.....	26
2.5 Conceptes previs per l'estudi matemàtic del fenomen .....	27
2.6 Estudi del càlcul trigonomètric.....	29
2.7 Correccions aplicades a les dades .....	31
3. Conclusions.....	37
4. Bibliografia .....	41
5. Annexos.....	46

## Introducció

En aquest treball s'analitza, investiga i documenta un desconegut i extraordinari fenomen solsticial que succeeix al nucli antic d'Horta de Sant Joan.

La incidència del Sol en algunes façanes dona lloc a curiositats com la que s'esdevé a l'edifici conegut com "Racó de les Grases". En aquesta zona del nucli antic de la vil·la es produeix un fenomen lumínic observable el dia del solstici d'estiu i en menor mesura, en els dies anteriors i posteriors a l'efemèride solar, en el qual, a primera hora del matí els rajos solars travessen una escletxa situada entre l'Església i l'edifici conegut com "Casa de Don Pedro", enfocant cap a les cases de la plaça. Poc a poc la llum va fent un moviment cap a la dreta i creua els porxos projectant-se finalment a la figura del sol situada a la façana de la casa del "Racó de les Grases".

La curiositat, celebrada a Horta des de fa temps per la gent jove i no tant jove, que han pres el costum d'anar-hi a veure la sortida de Sol el dia de Sant Joan, situat uns dies després del solstici, com a final tradicional i festiu de la revetlla em va cridar l'atenció i em va dur a plantejar-me el caràcter fortuït o intencionat del mateix.

Des de quan era petit, els veïns i familiars m'explicaven aquesta peculiaritat que passa al meu poble. Lògicament no entenia les diverses circumstàncies que feien que això passés, i, al principi, tampoc m'hi capficava molt. Però a mesura que anava creixent, la meua curiositat augmentava, i cada cop tenia més interès per conèixer i entendre detalladament aquest efecte. El meu cap s'anava omplint de preguntes i dubtes dels quals no en treia l'aigua clara ja que no obtenia cap resposta perquè ningú me'ls sabia contestar:

- Perquè passa aquest esdeveniment?
- Com succeeix?
- Té alguna relació amb l'origen del poble?

Aquests interrogants foren la motivació principal que em va portar a escollir aquest tema com a treball de recerca. D'altra banda, un altre motiu és que aquest fenomen és molt proper a mi, a part que es tracta del meu poble, visc a la plaça de l'Església, al costat mateix d'on passa aquesta fet cada any.

La hipòtesi o més ben dit l'objectiu principal en el qual centro el meu treball és saber si **“és un fenomen elaborat i pensat a propòsit, o una casualitat”**. Aquesta pregunta crec, personalment, que engloba el desig de saber els fonaments principals d'aquesta singularitat i d'aquesta manera comprendre-la en profunditat.

La pròpia història d'Horta, amb un nucli antic medieval i amb lligams molt estrets amb l'ordre del Temple i sobretot dels edificis implicats: una església consagrada a Sant Joan Baptista i l'edifici de Casa de Don Pedro; em van fer plantejar en origen una possible intencionalitat per part dels primitius projectistes dels edificis que potser construïren les cases amb la intenció de que es donés el fenomen. Al llarg del treball aquesta hipòtesi ha anat perdent força però sense arribar a poder descartar-la completament, sobretot amb la descoberta de diversos fets que m'obren nous interrogants. La qüestió inicial doncs, no quedarà completament resolta. Hi ha espai per pensar que ha estat la mà de l'home qui ha modelat la distribució urbana intencionadament per provocar l'efecte solar, tanmateix l'estudi dut a terme ens facilitarà la comprensió del fenomen des de la seva fonamentació física i astronòmica al temps que ens permetrà donar difusió a una curiositat més de les moltes que envolten una vila carregada d'història.

Per dur a terme aquest treball he fet un estudi des de dues vessants simultànies. En la primera, que es podria definir com més descriptiva, he dut a terme una investigació basada en la recollida, anàlisi i classificació de dades centrada a explicar i situar el marc històric i teòric del treball, amb l'objectiu de poder relacionar la construcció i ubicació dels edificis implicats amb el fenomen, tractant de trobar-hi alguna pista sobre la seva possible intencionalitat, mentre esperava pacientment l'arribada del solstici. En aquesta part explico el fenomen en relació als orígens dels edificis que intervenen a l'esdeveniment a través de la consulta de documents,

informació de llibres, parlant amb els propietaris dels edificis i amb experts en història local com Salvador Carbó. Ell mateix al seu llibre Guia d'Horta de Sant Joan va comentar el següent sobre aquest esdeveniment: "És en aquest punt que una vegada a l'any succeeix un fet ben curiós. (...) No sabríem explicar els motius d'aquest episodi, si és una casualitat o és una cosa extremament i meticulosament calculada pels primers constructors del temple parroquial, és a dir, pels templers. Si fos així quina lectura se li pot donar? Vosaltres mateixos!

A la segona, un cop fet l'estudi previ explico i analitzo el fenomen matemàticament. En ella hi consta l'observació i seguiment del fenomen; estableixo la importància del solstici i alguns exemples de fenòmens solars coneguts a altres llocs; i finalment, un estudi matemàtic on, centrat en un treball de camp a través del qual he recollit un conjunt de dades empíriques, faré un estudi trigonomètric dels càlculs de la projecció de la llum que actuen al succés amb el corresponent tractament d'errors i correcció de dades. Es tracta, en definitiva, d'estudiar i predir aquest fenomen, i donar-li una explicació astronòmica i matemàtica. Finalment, tot buscant una relació entre les diverses dades obtingudes mitjançant la recerca històrica, la investigació i el càlcul matemàtic, vull arribar a donar una resposta a la hipòtesi formulada.

A l'annex recullo un fet que no esperava ni tenia previst quan vaig començar el treball. Durant el procés d'elaboració del treball de recerca he despertat l'interès de l'Ajuntament d'Horta i sabedors del que estava fent hem van plantejar de fer un panell informatiu per situar-lo al lloc on passa aquest fenomen, independentment del resultat de la meua investigació; amb la intenció d'informar i assabentar a la gent que al lloc on estan en aquell moment concret succeeix una cosa diferent uns dies concrets de l'any. Una idea que vaig valorar com a molt positiva tant per a la gent del poble com per a la que vingui a visitar-lo ja que fins ara, tot i ser conegut per algunes persones, no s'ha documentat a fons.

No puc concloure aquesta introducció sense fer esment a que la dificultat més notable que m'he trobat durant el treball ha sigut el difícil accés a dades, fonts de consulta i imatges per consultar sobre la recerca històrica, sobretot perquè els

edificis implicats al fenomen van ser construïts fa molts anys. L'altra dificultat que m'he trobat ha sigut quan estava fent la observació del fenomen, perquè durant diversos dies els núvols no m'han deixat veure la llum del sol a la sortida.

## 1. Estudi històric i urbanístic

### 1.1 Descripció del fenomen

És un fenomen lumínic espectacular produït per la llum del sol que solament es pot veure uns dies concrets a l'any. La gent del poble atribueix que passa el dia de Sant Joan, però no és així; de fet, és observable el dia del solstici d'estiu, que al 2020 fou el 20 de juny, però té un interval de dies anteriors i posteriors en el quals també es pot observar, sent per tant, més extens del que inicialment la gent que em comentava sobre aquest fenomen em deia. No és molt conegut més enllà de la gent del poble d'Horta de Sant Joan, tot i que cada cop les noves generacions al poble n'estan menys al corrent.

Aquest fenomen consisteix en que al despuntar el dia, en dates properes al solstici d'estiu, quan surt el sol pel costat inferior esquerra de la muntanya de Santa Bàrbara



*Fig. 1 Observació dels rajos de sol creuant l'esclatxa des del carrer Comada.*

la llum solar enfoca cap al poble, i un raig de llum travessa l'esclatxa que hi ha situada a la part superior entre l'Església i Casa de Don Pedro, edificis situats al nucli antic de la població.

Mentrestant succeeix la sortida del sol, la llum va movent-se passant per l'esclatxa. Degut al moviment de rotació de la Terra, fa un desplaçament en direcció cap a la dreta que comença a casa Colau, situada a la plaça de

l'església, passant per casa Pascualet, per després creuar per davall dels porxos de la plaça de l'Església i creuar el carrer Comanda. On aquesta llum, ja a la fase final del fenomen, exactament a les 7.00h. en els dies propers al solstici, incideix projectant-se a un punt concret de la façana de la casa del Racó de les Grases,

situada al final del carrer Comanda en direcció frontal a l'esclotxa, fins que acaba desapareixent progressivament a la finestra de la paret de la dreta del mateix edifici.



Fig. 2 Diferents projeccions del fenomen. Posició del sol extreta de Sun Earth Tools.



Fig. 4 Primera projecció a casa Colau.

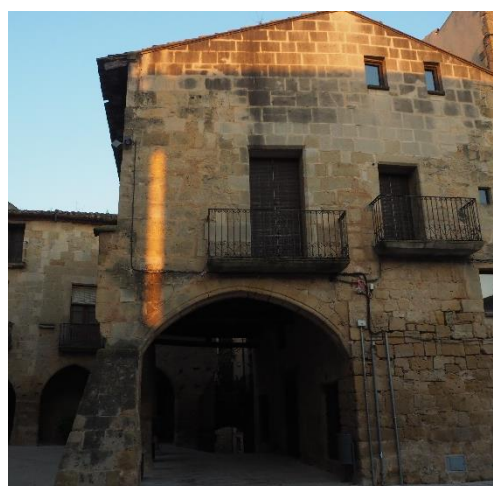


Fig. 3 Projecció a casa Pasqualet.



Fig. 6 Segona projecció a casa Colau



Fig. 5 Projecció final al Racó de les Grases.



Fig. 7 Projecció al Racó de les Grases a les 7.00h

## 1.2. Origen dels edificis implicats

En aquest apartat faré una recerca per poder trobar els orígens dels tres edificis principals implicats en aquest fenomen, per ordre de més antic a més recent, relacionant-los amb les etapes històriques d'Horta de Sant Joan, per a que tingui un sentit en conjunt i així intentar trobar alguna relació entre els edificis i també alguna pista per esbrinar una possible intencionalitat del fenomen.

### 1.2.1 Església de Sant Joan Baptista

L'Església d'Horta de Sant Joan anomenada Església de Sant Joan Baptista és un edifici d'una sola nau que està situat a la plaça de l'Església. Construïda amb una orientació de 67<sup>01</sup>, coincidint aproximadament amb la sortida del sol al solstici d'estiu. La nau fa 31,5 m de llarg per 11m d'amplada i 14,5m d'alt. Està formada per dos trams diferents. Primera part, gòtica (finals s. XIII - XIV) i segona part, Renaixentista (s. XVI). Una curiositat més de les moltes que envolten el nostre poble és que pot establir una certa versemblança lingüística entre el nom de la població Horta o Orta, com antigament sembla que es deia i la sortida del sol, Orto. Fet que ha propiciat que alguns estudiosos estableixin una suposada i hipotètica relació entre el poble i el Sol.



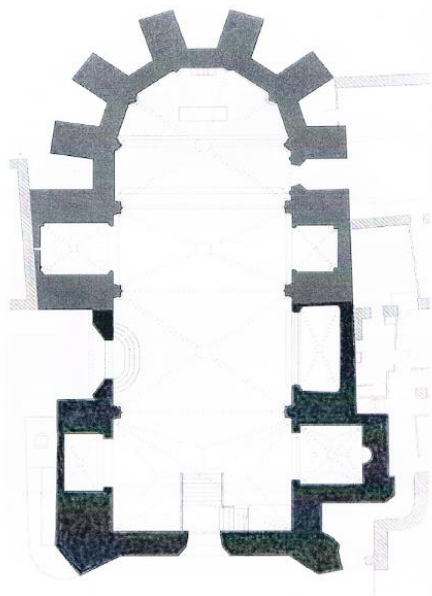
*Fig. 8 Església de Sant Joan Baptista*

A partir de la consolidació cristiana, l'ocupació i el creixement de les rendes, es va instal·lar a Horta

---

<sup>1</sup> Fet que no ens ha d'estranyar ja que el costum constructiu de les esglésies era orientar-les cap a la sortida de Sol del dia quan es celebra el Sant al qual estan consagrades, en aquest cas, Sant Joan Baptista.

una comanda templera, i es va acordar de construir el primer tram de l'Església.



“Sembla que és a partir de la concòrdia de 1185 entre els templers i el bisbat de Tortosa que es fixen les bases per a la constitució de la parròquia d'Horta (...) Així doncs, cal pensar que amb posterioritat a aquesta data, però no molt més enllà, es devia començar a construir, en terrenys cedits pels templers, l'església parroquial d'Horta.” (Vila i Carabasa, 2019, p. 90)

*Fig. 9 Planta de l'església parroquial d'Orta on es destaca amb color fosc la part obrada al segon tram, a partir de l'any 1513, (s.XVI). A la part superior esquerra veiem la separació amb l'edifici de Casa de Don Pedro.*

No tenim cap idea de qui va poder ser l'arquitecte d'aquesta primera part de l'església de Sant Joan Baptista, simplement alguna referència de l'any 1346 ens porta a Bernat d'Alguaire, nascut a Horta de Sant Joan.

“ Cap a mitjan setembre el mestre es va desplaçar per motius personals a Horta de Sant Joan, i va deixar el seu germà i el seu gendre com a responsables de l'obra.” (Almuni, 2007, p.74)

El segon tram de l'Església podem saber que va ser contractat al 1513 i possiblement va ser acabat en un període inferior als set anys. El mestre d'obra encarregat va ser Pedro de Lexalle. Aquesta reforma va ser necessària perquè degut a l'augment de població i la bonança econòmica d'aquella etapa gràcies al safrà, l'anterior edifici s'havia quedat petit. (Muñoz i Sebastià, 2009, p.15)

En aquest segon tram de l'església es pot observar una peça d'un arc de volta molt peculiar, representant un sol antropomòrfic de 12 rajos sortint del centre. Normalment a les claus de volta s'expressa alguna idea, algunes altres que trobem a l'església ens mostren el símbol de Sant Joan Baptista, l'escut d'Horta, una representació de la Mare de Déu... És molt curiós i enigmàtic degut a que no hem trobat referència a cap mostra de decoració en un arc de volta com aquest en cap parròquia cristiana. Això ens porta a un altra suposada relació entre aquesta església i aquest important astre.



*Fig. 10 Sol antropomòrfic. Detall d'arc de volta a l'interior de l'església.*

### 1.2.2 Racó de les Grases

L'edifici d'El Racó de les Grases és actualment una casa d'apartaments situada al Carrer de les Grases. Fa 6 anys els nous propietaris van decidir posar una figura d'un sol de petites dimensions construït a la zona exacta de la façana on el sol reflecteix la seva llum en aquest fenomen, en forma d'homenatge a l'esdeveniment del qual aquesta façana n'és protagonista. L'actual propietari em va comentar que a la zona concreta on ha col·locat aquesta figura hi havia una petita marca.

Per trobar els orígens d'aquesta casa, hem de retrocedir fins a l'època on Horta formava part de l'Ordre del Temple. Abans d'això, estaven establerts els musulmans que van ocupar la part del turó que ocupa la banda nord de la població actual, la zona amb més altura, l'anomenat actualment "el castell". Horta era la seu d'un hisn<sup>2</sup>. Fins que al tercer quart del s. XII (1175 aprox.) les tropes d'Alfons el

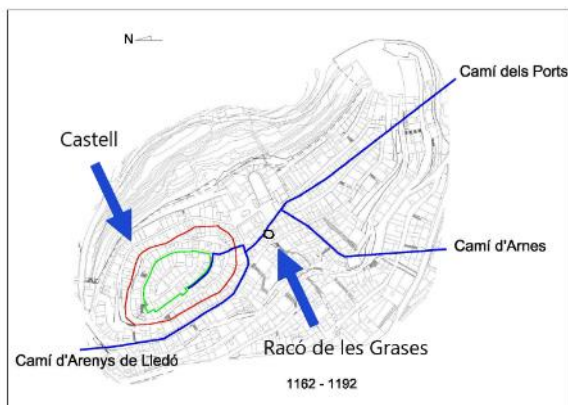


Fig. 11 Plànol del nucli d'Horta, posició Racó de les Grases. (s XII.)

Cast conquereixen aquesta zona, i ho converteixen amb una seu senyorial. Llavors Alfons el Cast fa donació als templers del castell d'Horta i la fortificació cristiana es va instal·lar al mateix lloc que els precedents islàmics.

L'any 1706 les tropes borbòniques van enderrocar el castell d'Horta, d'aquesta manera van tombar també

la casa actualment anomenada com el Racó de les Grases en el marc de la Guerra de Successió. Uns anys més tard, el 1712, es començà el procediment per tal de construir la nova seu de la comanda, en aquest cas dins la població. Es tracta de l'edifici conegut encara avui com a Casa de la Comanda per ser l'edificació on residia el comanador Jerónimo Muñoz de Pamplona. En això s'explica el perquè de

---

<sup>2</sup> Paraula àrab que denominava a determinats castells que actuaven com a centres defensors i organitzatius d'una certa zona.

l'escut de Navarra a la façana d'aquest edifici. Aquest mateix uns anys després es va proposar comprar uns baixos i un pati prop de la plaça d'Horta per construir-hi graners, trulls i cellers per poder emmagatzemar els recursos que cobrava a la gent del poble. Posteriorment, al 1736, es va ampliar la propietat amb la compra d'un pati contigu a la casa, del qual es diu que el paviment estava fortificat i amb trulls incorporats per vi i oli. (Vila i Carabasa, 2019, p.17).

En conclusió, podem afirmar que va ser construïda entre el 1706 i 1736.



*Fig. 12 Projecció final a la façana del Racó de les Grases.*

### 1.2.3 Casa de Don Pedro

Casa de Don Pedro actualment anomenat Lo Portalet, és una casa d'apartaments situada a la Plaça de Sant Salvador, en contacte amb la primera part gòtica de la parròquia d'Horta.



*Fig. 13 Edifici conegut com Casa de Don Pedro.*

La Casa de Don Pedro va ser aixecat sobre la superfície del fossar parroquial de l'Església de Sant Joan Baptista. S'ha pogut constatar la presència de restes humanes a una distància de 8 metres respecte de la zona septentrional de l'Església, és a dir, direcció a la casa. També algunes fotografies testimonien l'existència d'una creu situada a l'espai de la plaça de Sant Salvador, en front de l'edifici. (Ciurana i Prast, 2020, p. 19-35)



*Fig. 14 Creu situada a la plaça de Sant Salvador.*

Lo Portalet va ser la casa dels Delgado, una família de boticaris<sup>3</sup> de molt prestigi i molt rica. Sabem de la importància d'aquesta família perquè tenien criats i sobretot pel motiu de que existia una connexió directa d'aquesta casa fins a l'Església de Sant Joan Baptista. Hem de ser conscients que les esglésies per norma general se solen construir sense cap contacte a altres edificis, sinó es tracta de la casa del capellà, que a vegades si que està construïda en contacte amb l'església corresponent.

---

<sup>3</sup> Farmacèutics

Es creu que aquest edifici va ser construït a finals del s. XVIII o principis del s. XIX. Degut a que el primer integrant de la família que en tenim constància és Josep Delgado, trobat en un Capbreu el 1781. Sabem del segur que a l'any 1855 aquesta casa ja estava construïda perquè a l'Amilla rústica de les propietats de Miguel Delgado, fill de Josep Delgado, apareix “ una casa sita en la plaza, lindante con Pascual Palomar y Iglesia.”<sup>4</sup>



*Fig. 15 Separació entre l'església i Casa de Don Pedro a l'inici del fenomen.*



*Fig. 16 Imatge de les últimes reformes a l'edifici on s'observa la connexió amb l'Església i la part inferior de l'esclatxa.*

---

<sup>4</sup> Veure Annex 4

### 1.3 Conclusions de l'estudi històric dels edificis implicats

Taula de dades del edificis	Any el qual va ser construït
<b>Església</b>	Primera part, gòtica final s. XIII - XIV Segona part, Renaixentista s. XVI. (1513)
<b>Racó de les Grases</b>	Principi s. XVIII. (1706-1736)
<b>Casa de Don Pedro</b>	Final s. XVIII - XIX

*Taula 1 Resum d'informacions obtingudes.*

Després de fer l'estudi històric dels principals edificis implicats al fenomen, no he pogut trobar cap informació clau la qual em doni lloc a decantar-me cap a una de les idees en particular formulades a la hipòtesi principal. Al contrari, ha obert més interrogants. Si observem els anys en que han sigut construïts, podem veure que l'Església és l'edifici més antic, aproximadament 500 anys abans que els altres dos edificis, i aquests entre ells es porten aproximadament menys de 100 anys de diferència. Si recomponem esquemàticament els edificis al fenomen, podem observar que necessitem casa de Don Pedro (últim edifici a ser construït) per a que es produeixi aquesta anomalia amb la llum solar, sinó no té cap sentit. D'aquesta manera, una pregunta que m'ha sorgit, és si podria ser que s'adonessin de la direcció dels rajos de sol i del propi fenomen deixessin aquesta escletxa de manera estratègica. No tinc indicis que ho afirmen o ho neguin.

Tot i això, cal remarcar que tots tres edificis guarden una relació simbòlica entre ells i estan vinculats, l'església directament i les dos cases indirectament, amb el tema

religiós. L'edifici del Racó de les Grases va ser construït durant l'etapa en la qual van estar els hospitalers, una de les ordres de cavallers de l'Edat mitjana més poderoses, amb forta presència a Horta de Sant Joan i els seus voltants. L'edifici de Casa de Don Pedro va ser la casa d'una família amb molt prestigi i rica que fins i tot tenia un contacte directe amb l'església. Per tant tampoc podem descartar que el fenomen sigui buscat. En primer lloc un tret que hem crida la atenció és que el costat de l'església amb contacte en la Casa de Don Pedro, la part inferior esta segellada, però la part de l'esclètxa, les parets no estan en contacte i per contra a l'altre costat l'església està en tota la seva totalitat en contacte amb l'edifici que hi ha. D'aquesta manera la pregunta que em sorgeix és: Perquè van deixar la zona aquesta sense enganxar a la paret?

En segon lloc una curiositat que m'ha donat bastant a pensar si té algun significat referent al fenomen, és la figura del sol que hi ha a l'arc de volta al segon tram de l'església, és a dir, a la part de l'església on està l'esclètxa i que estava construïda.

El que si que queda clar és que la figura de Sol que hi ha a l'edifici del Racó de les Grases es de temps recents ja que la van instal·lar els actuals propietaris.

## 2. Estudi astronòmic i matemàtic del fenomen

### 2.1 Observació del fenomen

Per organitzar els dies els quals havia d'assistir al fenomen, al començament una mica incerts, és a dir, no sabíem en total seguretat entre quins dies es produïa, juntament amb el meu tutor i tenint en compte que el dia principal, el solstici d'estiu era el dia 20 de juny, vam decidir que havia d'estar present en aquest fet extraordinari els dies anteriors i posteriors al propi solstici. Entre els dies compresos entre el 16 i el 24 de juny, aquests inclosos, doncs estaria present 4 dies abans del solstici, el dia del solstici i 4 dies després, un total de 9 dies. Però degut a la inestabilitat meteorològica dels primers dies, no vaig poder observar el fenomen, i vam decidir que havia d'estar present al fenomen en una estància de dies més extensa. A part, durant aquests dies vam observar que segurament el fenomen durava més del que en primer moment ens havíem imaginat i m'havia dit la gent gran del poble.

També he de dir que a mi personalment no em costava assistir in situ al fet ja que succeeix al costat de casa meua, l'únic inconvenient que tenia era aixecar-me bastant aviat cada dia. A partir del dia 27, ja tenia els recursos gràfics necessaris però anava assistint intermitentment al fenomen per acabar de controlar i acotar el fenomen.

DIA	OBSERVACIONS	REF. DOC. GRÀFICA
16/06	No he pogut observar el fenomen degut a la inestabilitat meteorològica, el cel estava totalment ennuvolat.	<a href="#">16.06</a>
17/06	Simplement he pogut observar el fenomen en la seva fase inicial, perquè després els núvols han tapat el sol.	<a href="#">17.06</a>
18/06	No he pogut observar el fenomen degut a la inestabilitat meteorològica, el cel estava totalment ennuvolat, fins i tot plovia.	
19/06	No he pogut observar el fenomen degut a que el cel estava totalment ennuvolat.	<a href="#">19.06</a>
<b>20/06 SOLSTICI</b>	<b>He pogut observar el fenomen gairebé perfectament, els núvols baixos han tapat la primera projecció solar del fenomen.</b>	<b><a href="#">20.06, solstici</a> <b><a href="#">Projecció final</a></b> <b><a href="#">(VIDEO)</a></b></b>
21/06	He pogut observar el fenomen perfectament.	<a href="#">Moviment del sol(VIDEO)</a>
22/06	He pogut observar el fenomen perfectament.	<a href="#">22.06</a> <a href="#">Primera projecció (VIDEO)</a>
23/06	He pogut observar el fenomen perfectament.	<a href="#">23.06</a> <a href="#">Sortida del sol (VIDEO)</a>

<b>24/06</b>	He pogut observar el fenomen perfectament.	<a href="#"><u>24.06</u></a>
<b>25/06</b>	He pogut observar el fenomen, però amb una mica de dificultats degut a alguns núvols que dificultaven la visibilitat de la llum, sobretot al principi.	<a href="#"><u>25.06</u></a>
<b>26/06</b>	No he pogut observar el fenomen degut a que el cel estava totalment ennuvolat.	
<b>27/06</b>	He pogut observar el fenomen gairebé perfectament, els núvols baixos han tapat la primera projecció del sol.	<a href="#"><u>27.06</u></a>
<b>30/06</b>	No he pogut observar el fenomen degut a que el cel estava parcialment ennuvolat.	<a href="#"><u>30.06</u></a>
<b>01/07</b>	He pogut observar el fenomen perfectament. Aquest dia he observat com en la seva fase inicial i final el sol no és projecta exactament al lloc exacte com tots els altres dies.	<a href="#"><u>01.07</u></a>

*Taula 2 Resum del seguiment del fenomen.*

Després de finalitzar l'observació del fenomen, malgrat la meteorologia desfavorable la majoria dels primers dies previs que he assistit al fenomen, estrany per l'època de l'any, la valoració és bastant positiva, he disposat de temps per poder fer fotografies i vídeos des de diferents perspectives. L'únic amb el que hagués pogut millorar, és d'agafar un ventall de dies més ampli anteriors al solstici per poder acotar i constatar millor les dates en que succeeix aquesta anomalia i obtenir més recursos gràfics veient el desenvolupament del fenomen els dies previs al solstici, cosa que potser tampoc no hagués pogut fer per la situació meteorològica.

## 2.2 Importància dels solsticis

Astronòmicament els solsticis estan relacionats amb la posició del Sol i són produïts gràcies a la inclinació de l'eix de la terra. El nom prové del llatí solstitium, que significa sol quiet. Significa que aquest dia el sol es manté quiet al més alt de l'esfera terrestre.

Es produeix que al solstici d'estiu, el Sol arriba al seu màxim recorregut i aconseguix la màxima declinació nord ( $+23^{\circ} 45'$ ), major alçada aparent al cel i la durada del dia és la màxima de l'any. Després, al cap de 6 mesos arribarà al punt on tindrà la màxima declinació sud ( $-23^{\circ} 45'$ ) i serà el solstici d'hivern. És quan el Sol aconseguix la menor alçada aparent en el cel, i la durada de la nit és les màxima de l'any. De la mateixa manera que quan a l'hemisferi nord es produeix el solstici d'hivern, a l'hemisferi sud es produeix el solstici d'estiu, i així a l'inrevés.

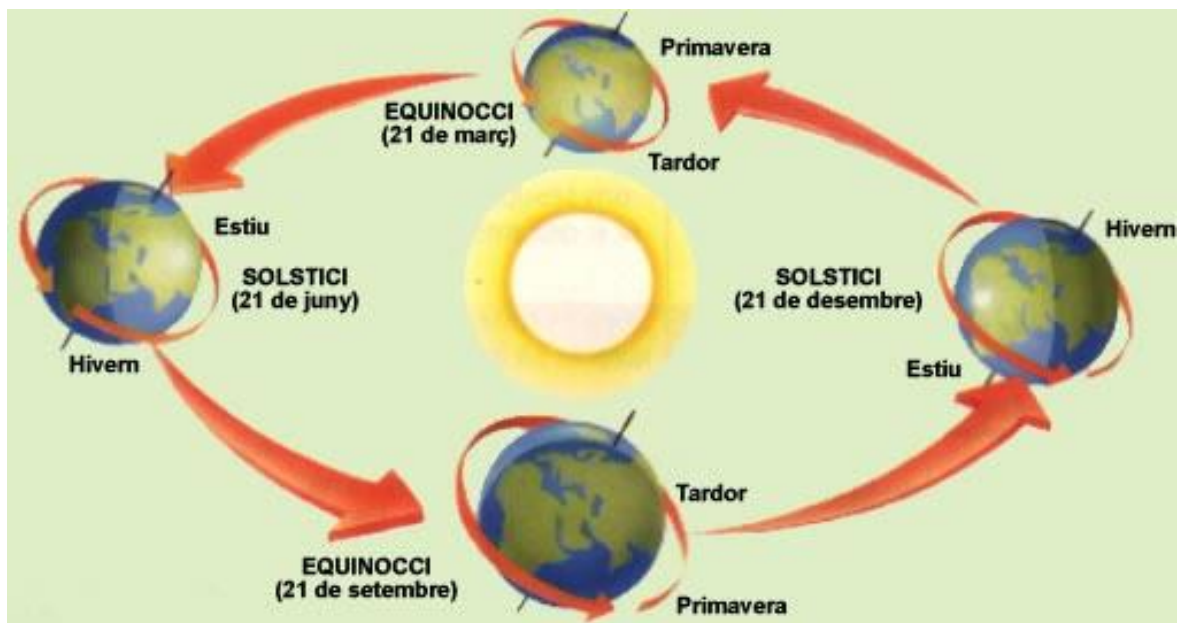


Fig. 17 Esquema de la inclinació de la Terra.

Els solsticis són fenòmens celebrats i coneguts des de l'antiguitat. Se celebraven diversos rituals, homenatges o edificacions dedicades a "l'Astre Rei"<sup>5</sup>, per recordar la seva importància a la nostra vida. Ha tingut una gran importància religiosa per a moltes civilitzacions, fet que no se li va escapar a la religió Catòlica i va establir aquests dies la festa dedicada a sant Joan.

La festivitat de sant Joan ve relacionada amb el fet d'encendre fogueres simbòlicament per donar força al sol, que a partir d'aquests dies es va fent dèbil, fins arribar al solstici d'hivern, el dia amb menys hores d'insolació de l'any. Una festivitat molt vinculada al cicle agrícola i molt arrelada a una població que anteriorment estava gairebé totalment dedicada a l'agricultura. De fet, quan arribava l'estiu, també arribava la bonança meteorològica i per tant començava la producció als horts i camps, la qual cosa significava producció agrícola i per tant, que podien tenir menjar.

---

<sup>5</sup> El sol també anomenat "Astre Rei" per la seva importància degut a què és l'encarregat de produir llum, calor i energia, per tant, fer possible possible la vida a la Terra.

## 2.3 Exemples de fenòmens solars coneguts

A continuació documentaré un seguit de fenòmens solars força coneguts i que ens donen compte de la importància dels solsticis arreu del món des de temps antics.

### Panteó de Roma

També anomenat Panteó de Agrippa, és un antic temple romà, encarregat per l'emperador Augusto, acabat de construir l'any 125 d.C. El nom procedeix del grec *Pántheion* que significa "temple de tots els deus". Un dels estudis més complets fins ara l'ha portat a terme els italians Hannah i Magli (2011), la seva hipòtesi és que el Panteó va ser dissenyat segons unes orientacions astronòmiques per a donar un poder religiós i poderós a l'emperador. Els fenòmens que es produeixen són el dia del solstici d'estiu, es filtra la llum del sol perpendicularment al temple mitjançant l'òcul situat al sostre. L'altra curiositat, és que el dia 21 d'abril, coincidint amb la data de fundació de Roma, l'òcul projecta els rajos del sol cap a la porta d'entrada. Aquest efecte era aprofitat per l'emperador i li donava un aura de divinitat

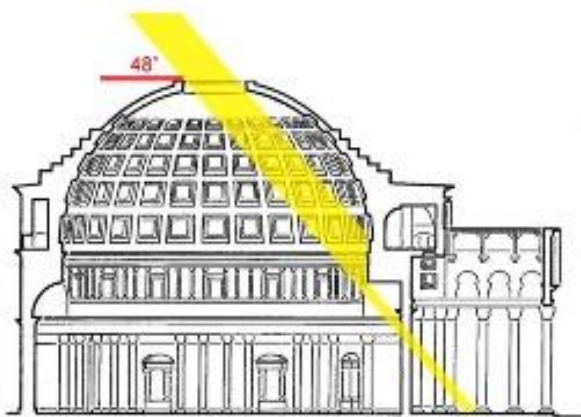


Fig. 18 Esquema llum entrant al Panteó.



Fig. 19 Incidència de llum al Panteó in situ.

## Temple de Neferteri

Temple situat al Caire, forma part d'un conjunt de dos grans temples, orientats cap a l'est, i fou una construcció encarregada per Ramsés II, en homenatge a la seva esposa, la reina Neferteri. Hi ha una zona santuari on està l'estàtua de Ramsés i els déus Ra, Amón i Ptah. El fenomen consisteix en què, els rajos solars entren per la porta i es dirigeixen a il·luminar la cara de Ramsés en primer lloc, després d'un temps el sol avança amb el seu recorregut cap a l'esquerra i il·lumina el rostre del déu Ra. Per finalitzar el sol segueix i il·lumina part del cos del déu Amón. El déu Ptah, el quart en la seqüència de estàtues es queda fora dels rajos del sol, fent honor al seu origen vinculat amb el submón. Justament aquest succés passa dos vegades a l'any, el 22 d'octubre, commemorant l'accés al tron, i el 22 de febrer, dia del seu naixement.



*Fig. 20 Rajos de sol il·luminant als Déus.*

## Catedral de Palma

És el principal edifici religiós a l'illa de Mallorca, va ser construïda l'any 1229 després de la conquesta de la Corona d'Aragó als musulmans. Hi succeeixen dos fenòmens diferents durant l'any. El primer passa dos cops a l'any, pels volts del 2 de febrer i de l'11 de novembre, dates simètriques al solstici d'hivern, els raigs del sol sortint travessen la rosassa orientada cap a l'est (també anomenada Oculus Mayor) i es projecten per sota de l'altra rosassa de ponent, formant una forma com un vuit.

L'altre efecte es produeix els dies del solstici d'hivern, aproximadament 21 de desembre, quan la projecció del rajos solars de la rosassa de llevant es projecten a la rosassa de ponent després de creuar tota la catedral. És molt espectacular observat des de fora perquè dona un efecte molt vistós a la rosassa. Pel que fa a la intencionalitat d'aquest fenomen, en una investigació de Ruiz i Pol i Llompart (2010) de la societat balear de matemàtiques, van acordar que:

*“Llavors, si l'orientació inicial de les obres era aquesta, els efectes de llum, més*



*que una casualitat, en són una conseqüència. L'efecte del solstici apareixerà necessàriament sempre i quan les dues rosasses tinguin una grandària semblant i estiguin a la mateixa alçada, cosa lògica en el disseny d'aquesta gran nau.”*

*Fig. 21 Vuit que forma la llum solar per la rosassa.*

Aquest exemple solar, possiblement sigui el més semblant al del meu estudi, degut a que té la intervenció directa d'un edifici religiós, i la conclusió final dels investigadors ha sigut que és un fenomen que ocorre degut a les característiques de la construcció de l'edifici, és a dir, neguen que sigui buscat per l'home. Pot ser una petita pista sobre el meu estudi, però tot i així, hi ha molta diferència de característiques entre els dos fenòmens.



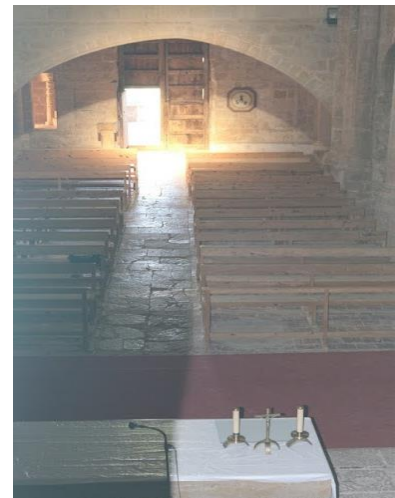
*Fig. 22 Efecte visual dels rajos de sol a la rosassa.*

## El Convent d'Horta de Sant Joan

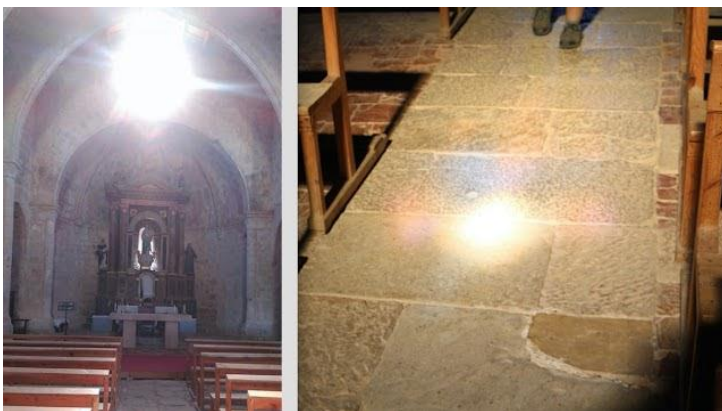
El Convent de la Mare de Déu dels Àngels d'Horta de Sant Joan és un convent franciscà construït al peu de la muntanya de Sant Salvador. Arquitectònicament està format per una sèrie d'edificis de diverses èpoques diferents entre el s. XII i XVII. Estructurat per un claustre renaixentista, església gòtica aixecada durant el domini templer. En un estudi recent, Miguel Giribets (2016) va arribar a les conclusions següents:

La nau és il·luminada pel sol per la seva façana est on hi ha un rosetó de manera que depèn de la posició del sol, els rajos es projecten perpendicularment. El solstici d'estiu, aproximadament el dia 20 o 21 de juny, a les 10 del matí, el sol entra pel rosetó i es focalitza cap a la meitat de la nau. Una hipòtesi és que els templers haurien pogut dur a terme algun ritual en aquest lloc. Un altre moment de l'any que es produeix un fet curiós és entre el 28 d'abril i el 3 de maig. Els rajos solars que penetren el rosetó es projecten a l'extrem oest, justament a l'entrada de l'església.

Aquest estudi ens demostra la importància del solstici d'estiu i una intencionalitat arquitectònica en la construcció de l'edifici molt proper al de l'estudi i estretament vinculat, tant en temps com en espai. Podria tindre relació tot plegat?



*Fig. 23 Fenomen solsticial al Convent.*



*Fig. 24 Visió de l'entrada de llum per la rosassa i incidència.*

## 2.4 Explicació matemàtica

Els càlculs numèrics són la base i la peça clau en qualsevol disciplina que ens ha portat a evolucionar des de fa milers d'anys, i ara ho són més. Tot i que a vegades ens costa veure-ho moltes de les coses que ens envolten són matemàtiques, des dels mòbils que portem a la butxaca, la tele..., és a dir, la tecnologia en general. Les cerques per Google funcionen amb algorismes. També hem entès alguns sistemes de funcionament del nostre cos, la medicina i la biologia utilitzen diferent tipus d'equacions. La protecció dels ecosistemes està dissenyada a partir de la teoria de les matrius. Fins i tot per a dissenyar els sistemes de grans bancs, la economia, la música, la meteorologia i molt més estan directament involucrades les matemàtiques. Al darrera de totes, o gairebé totes les activitats que els humans realitzem de manera quotidiana, existeix una gran infraestructura basada en models matemàtics.

Lògicament les matemàtiques també han sigut importants per a l'arquitectura, les construccions, formes i les orientacions de qualsevol tipus d'edificació i d'obra. Sobretot gràcies a la geometria i a la trigonometria. En aquest apartat calcularé la projecció de la llum solar en aquest fenomen, tot i que, aquest fenomen pot ser una casualitat, les matemàtiques ens ajudaran a discutir-ho. També ens podria servir per predir qualsevol tipus de fenòmens solars similars, independentment de com sigui el buit per on penetra la llum; directament o filtrada per un vidre, etc.

Totes les fórmules utilitzades que s'apliquen per calcular la projecció de llum del fenomen poden trobar-se en el llibre de Rafael Soler Gayà "Diseño y Construcción de relojes de Sol y de Luna" editat pel Colegio de Ingenieros de caminos, Canales y Puertos. (Soler, 1997)

## 2.5 Conceptes previs per l'estudi matemàtic del fenomen

En aquest apartat estudiarem com es poden predir aquest tipus de fenòmens a partir de les dades geomètriques que hom pot mesurar in situ (distància de l'esclatxa al punt de projecció, diferència d'altura entre aquests punts i azimuth del pla vertical que els conté) i de les dades geogràfiques del lloc (latitud i longitud), les quals totes van acompanyades de la seva resolució matemàtica en forma de fórmules.

Amb aquestes mesures trobarem la declinació solar i l'angle horari (posició del sol en coordenades equatorials) que ens permetran determinar en quin moment es produeix l'esdeveniment. Al tractar-se d'un fenomen associat a una esclatxa que té una certa amplada i que es troba a una determinada alçada i orientació, veurem que hi ha un ventall de dates dintre de les quals el fenomen serà observable, com hem pogut constatar amb l'observació del fenomen in situ, per tant, no determinarem un dia i una hora exacta, si no que obtindrem un cert període de temps en el qual es pot observar, centrat això si, en la data de l'efemèride solar. A més, cal dir que molts fenòmens associats a un solstici són observables en un cert ventall de dates al voltant del mateix ja que la variació de la posició solar en els solsticis és mínima. Al solstici d'estiu el sol arriba al seu recorregut màxim nord, s'atura i torna a fer el seu recorregut natural cap al sud. Cal haver filat molt prim per aconseguir un fenomen solar en una data concreta... que el ventall de dades sigui mínim ens podria confirmar la intencionalitat del fenomen.

- $\beta$  = azimuth del pla de l'esclatxa i un altre punt de referència

L'azimut és l'angle mesurat sobre l'horitzó que forma el punt cardinal Nord i la projecció vertical de l'astre o de l'esclatxa en aquest cas, definit pel punt geogràfic del fenomen o estudi. Es mesura cap a la dreta com les agulles dels rellotges.

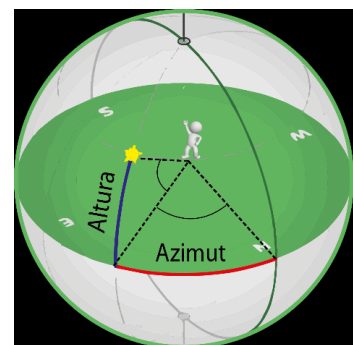


Fig. 25 Esquema de l'azimut.

- $\epsilon$  = angle horari al moment de produir-se el fenomen.

L'angle horari ens marca la distància angular entre el punt d'intersecció de l'equador amb el meridià local de l'observador i el cercle horari de l'astre. Cada hora equival a  $15^\circ$  ( $24\text{h.}/360^\circ$ ). D'aquesta manera es podrà fer un canvi i deduir l'hora exacta en que es produeix el fenomen. Un angle horari negatiu indica la hora que tornarà a transitar pel meridià local.

- $\alpha$  = declinació solar al moment de produir-se el fenomen.

La declinació és l'angle entre l'equador i una línia traçada des del centre de la Terra al centre de el sol. L'angle varia estacionalment degut a la inclinació de la terra sobre el seu eix de rotació. Té un ventall de valors que han d'estar compresos entre  $+23,45^\circ$  i  $-23,45^\circ$ , corresponen al solstici d'estiu ( $+\alpha$ ) i solstici d'hivern ( $-\alpha$ ).

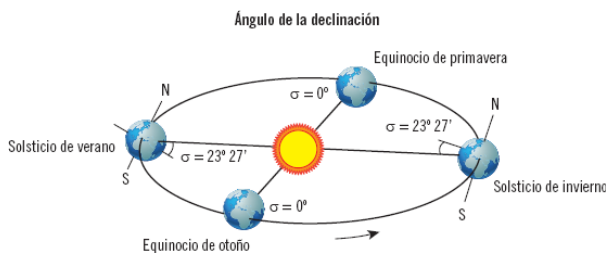


Fig. 26 Declinacions de la Terra.

- $o$  = altura solar amb refracció al mateix moment.
- $o'$  = altura solar sense refracció al mateix moment.

Aquests conceptes venen determinats per l'anomenada refracció atmosfèrica. Fa que tant el Sol com altres estrelles s'observin sempre damunt de la seva posició *real* degut a això en astronomia s'anomena posició *aparent*, perquè la posició es veu modificada degut a la refracció atmosfèrica.

- $\Phi$  = latitud geogràfica del lloc.

Distància angular que hi ha des d'un punt de la superfície de la Terra fins al paral·lel de l'equador, en direcció Nord o Sud.

- $\lambda$  = longitud geogràfica del lloc.

Distància angular que hi ha des d'un punt de la superfície de la Terra fins al meridià de Greenwich, en direcció Est o Oest.

- $d$  = distància en planta entre l'esclatxa i el punt de projecció.
- $N$  = nombre de dies des de l'inici de l'any.

## 2.6 Estudi del càlcul trigonomètric

Les primeres mesures es van efectuar el dia 14 de desembre de 2019 amb una brúixola senzilla i prenent dades de distància de forma aproximada a través de les eines que ens proporciona l'aplicació informàtica del Google Maps, amb la intenció de fer una primera lectura del fenomen i situar de forma aproximada la data i hora de l'esdeveniment. Aquest estudi preliminar ens va permetre corroborar que el fenomen era possible i mereixia ser estudiat més a fons i d'aquesta manera assegurar-nos per poder tirar aquest treball endavant.

Entre els dies 17 de juny i 1 de juliol vam poder documentar gràficament tot el fenomen, de forma exhaustiva fet que ens va permetre veure tot el recorregut solar a través de diversos punts de la plaça porxada. L'observació del fenomen no tan sols ens permet fer un recull fotogràfic del mateix, també ens suposà poder planificar bé que ens calia mesurar i des de quins punts fer-ho.

Finalment, el 28 de juliol, vam tornar a prendre mesures aquest cop amb equipament professional per tal d'establir amb el menor marge d'error les dades a partir de les quals efectuariem els càlculs. L'instrumental utilitzat per efectuar les mesures ha estat el següent:

- Brúixola de precisió tipus Wilkie amb un marge d'error després de la calibració de  $0.5^\circ$
- Clinòmetre professional SUUNTO amb un error associat després de la calibració de  $0.5^\circ$
- GPS eTREX 10 Garmin, amb accés a les xarxes GPS i GLONASS l'error del qual és menyspreable a efectes de càlculs i el podem obviar.
- Telèmetre làser Suaoki S9 amb un abast màxim de 60 m i un error associat a la mesura segons el fabricant de 1.5 mm.

El procediment de mesura, en el cas de l'azimut i les altures angulars es va dur a terme prenent dues tandes de dades per part de dos observadors independents per tal d'evitar errors associats al propi procediment de mesura i a l'observador i, fent la mitjana dels resultats obtinguts; les coordenades geogràfiques es van obtenir per la lectura directa de les dades del GPS i pel que fa a la mesura de la distància entre la paret amb el Sol i l'escletxa es va fer en dues tandes prenent un punt intermedi cap a les dues direccions amb el telèmetre ja que ens resultava complicada la visió del punter làser de referència, fet que associa un major error en la mesura al proposat pel fabricant. En el moment de la lectura s'efectuava la triangulació de la posició a partir de 10 satèl·lits detectats amb les dues xarxes GPS i GLONASS.

- Latitud:  $40^\circ 57' 14.4''$  N en expressió decimal 40,9538888 N
- Longitud:  $0^\circ 19' 00.4''$  E, en expressió decimal 0,316666 E
- Azimut al punt 1 (A1), primer lloc on arriba la llum a la plaça:  $66^\circ \pm 0.5^\circ$
- Azimut al punt 2 (A2), figura del sol on finalitza el fenomen:  $71^\circ \pm 0.5^\circ$
- Diferència angular entre el primer punt de projecció a la plaça i la base de l'escletxa (H1):  $5^\circ \pm 0.5^\circ$

- Diferència angular entre la figura del Sol i la base de l'esclatxa (H2):  $9^\circ \pm 0.5^\circ$
- Distància de la façana on hi ha la figura del Sol a l'esclatxa:  $47.3 \text{ m} \pm 0.5 \text{ m}$

## 2.7 Correccions aplicades a les dades

Les dades d'azimut no podem prendre-les directament, cal efectuar-hi dues correccions: La primera estaria associada a la possibilitat de la presència de camps magnètics propers que ens alterarien les mesures. Aquestes fonts d'error es poden deure a la presència a la zona de mesura de camps magnètics derivats d'imants, materials ferromagnètics o el que és més freqüent, cables elèctrics que ens generin camps magnètics. Fet que vam evitar durant el procediment de camp efectuant les mesures a suficient distància de qualsevol font sospitosa de camp magnètic; l'altra font d'error podria ser la geologia de la lloma on es troba Horta si aquesta presentés roques magnètiques també ens podrien alterar les mesures. Consultant la geologia de la zona veiem que es tracta de materials sedimentaris i per tant, també podem excloure aquesta possible font d'error. Tanmateix, i per tal d'assegurar les mesures amb la màxima fiabilitat possible en la primera visita es va prendre dades de la posició en azimut del Sol i de l'hora. Consultant les taules solars calculades que hom pot trobar per internet vàrem observar que les dades obtingudes es corresponien i que per tant no teníem cap desviació en la mesura deguda a camps magnètics no desitjats a la zona.

La segona correcció es deguda a la declinació magnètica. Aquesta té el seu fonament en el fet que el Pol Nord terrestre sofreix un lent moviment de deriva que fa que no es trobi sempre en el mateix punt geogràfic si no en una àrea al voltant del que seria el Nord exacte. Qualsevol mesura amb brúixola que ens mesuri respecte d'aquest nord s'ha de corregir en funció del lloc on es troba en aquell moment. Aquest moviment està modelitzat matemàticament i tabulat de manera que hi ha diferents pàgines web on podem trobar la correcció per declinació magnètica que hem d'efectuar a les nostres mesures simplement introduint la data de la mesura i el lloc geogràfic on l'hem fet.

Les pàgines consultades per obtindre el valor han estat:

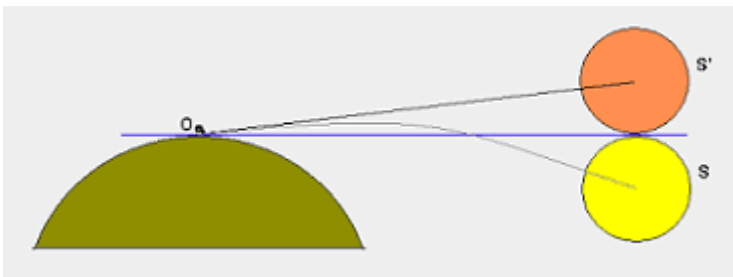
- La de l'ING (Instituto Geográfico Nacional de España), <https://www.ign.es/web/gmt-declinacion-magnetica> que ens ha donat un valor de  $0^{\circ} 48' E$
- I la del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration d'EEUU), <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml> en la qual trobem diversos models de càlcul que ens donen un valor de  $0^{\circ} 51' E \pm 0^{\circ} 21'$

Veiem que en ambdós casos el nostre valor es veu modificat en uns 50 minuts d'arc, aproximadament, cap a l'Est, per tant, els azimuths corregits de declinació magnètica ens queden, amb la pertinent adequació de l'error:

$$A1 = 66^{\circ} 50' \pm 30'$$

$$A2 = 71^{\circ} 50' \pm 30'$$

Respecte a la distancia angular també hem d'efectuar diverses correccions. La primera està relacionada amb la refracció atmosfèrica. Un raig de llum que canvia de medi sofreix una desviació en funció de la composició del medi. Això significa que nosaltres veiem un objecte lleugerament desplaçat de la seva posició real per causa d'aquesta desviació. Aquesta correcció la calculem emprant la fórmula:  $\sin(90^{\circ} - o') = \cos o'$



*Fig. 27 Engany visual anomenat refracció atmosfèrica.*

El segon aspecte a tindre en compte és que el Sol no és un objecte puntual si no que té un disc amb unes determinades dimensions. Per tant, quan parlem de la sortida del Sol ens podem referir a la primera claror quan el seu disc encara no es visible; a la primera aparició d'un punt del disc Solar o inclús a la visió completa del mateix (veure gràfic). Parlem doncs, de diferents crepuscles definits en funció de l'alçada angular del Sol per sota l'horitzó, tanmateix, per als càlculs en Astronomia hom considera el centre del disc Solar, i per tant, quan ja té una certa alçada sobre l'horitzó. El radi angular del Sol vist des de la Terra és de 30' d'arc, que hem de tindre en compte quan fem els càlculs, sobretot quan aquest es troba proper a l'horitzó, com és el cas que tractem.

Pel que fa al concepte de l'altura solar, el sol depenent de l'època de l'any i de l'hora està a una posició al cel, com després s'observa a les correccions aplicades a l'alçada angular hi ha un ventall d'angles en els quals el sol és capaç de projectar-se entre l'esclatxa, però per calcular exactament en un dia concret l'altura del sol en un hora determinada la pàgina utilitzada ha estat:

· PLANETCALC, (Calculadoras en línea) [Posición del sol](#)

Finalment hi ha l'aspecte de l'orografia circumdant. Si l'horitzó fos completament pla la sortida del Sol es produiria per un punt però la presència de muntanyes provoca un desplaçament que no podem obviar. (Veure gràfic). A més l'esclatxa té una certa alçada...per tant, el Sol haurà d'estar més alt que aquesta esclatxa o bé alineat amb ella en el seu límit inferior per poder projectar-se sobre una paret que hi hagi darrera.

Aquest darrer aspecte ens condiciona fortament els càlculs que ens permetrien concretar una hora exacta per a que es produeixi el fenomen. Una esclatxa oberta no és un objecte puntual que permeti el pas d'un únic raig de llum si no que suposa un ventall d'hores i dies en que el Sol passarà per ella tot i que ho pugui fer a diferents alçades. Per tant, partint de les dades dels azimuths que si podem fixar de

forma exacta, ens limitarem a donar el valor mínim en alçada de l'esclatxa per poder calcular en quines dates serà visible el fenomen.

Per tal d'establir una dada de com ens corregeix l'alçada la nostra posició prenem com a referència la sortida del sol el dia 22 de juny. A la fotografia podem observar com el disc s'eleva per entre les muntanyes circumdants a Horta. Per nosaltres l'horitzó en aquest moment és pla, estem situats a la base de l'esclatxa, si mesurem l'alçada angular de les muntanyes per l'azimut on veiem la sortida del sol, uns  $66^\circ$ , ens dona  $4^\circ$ , en canvi, la posició del Sol a aquesta hora en altura, consultada a les taules elaborades pel programa Sun Earth tools és de  $8^\circ 30'$ , excloent el tamany del disc solar per comparar amb la nostra mesura,  $8^\circ$ ; això ens comporta una diferència de  $4^\circ$  que caldrà tindre en compte per corregir les nostres mesures. Així, les nostres dades en altura amb les correccions pertinents i el càlcul d'error associat ens queden: H1:  $9^\circ 30' \pm 50'$  H2:  $13^\circ 30' \pm 50'$ .



*Fig. 28 Sortida de sol sobre les muntanyes del dia 22 de juny.*

Taula resum de les dades associades a les mesures:

Correccions alçada	Mesura	Disc solar	Orografia	Error associat	Total	Refracció	Declinació	Cooper	Data inici	Dies fins al solstici	Data final
Figura del Sol Racó de les Grases	9	0,5	4	0,7	14,2	14,14	22,86	159,4	6/09	11	7/1
	9	0,5	4	0	13,5	13,43	22,41	155,2	6/5	15	7/5
	9	0,5	4	-0,7	12,8	12,73	21,97	151,8	6/1	19	7/9
Projecció Inicial plaça	5	0,5	4	0,7	10,2	10,11	24,05	x	x	x	x
	5	0,5	4	0	9,5	9,41	23,59	x	x	x	x
	5	0,5	4	-0,7	8,8	8,70	23,13	163	6/12	8	6/28

- A l'annex 2 es pot trobar la imatge dels càlculs del fenomen realitzats en un Excel.
- [Càlculs fenomen solar Horta](#)

A l'annex veureu els càlculs referents a la projecció del fenomen, és a dir, sobre la figura del Sol al Racó de les Grases, el primer dia que és projecta i al Solstici, dia principal. En el mateix annex també està el càlcul sobre la primera projecció del fenomen a la plaça amb una imatge de l'Excel que vam usar.

En aquest apartat la meua intenció no és explicar ni demostrar les fórmules utilitzades en el càlcul, degut a que m'endinsaria en un apartat extens amb transformacions trigonomètriques molt enutjoses, seria un apartat descompassat de la resta del treball. La meua intenció és entendre el funcionament del fenomen,

demostrar que es possible que succeeixi i precisar entre quins dies i hores es produeix.

Amb els resultats obtinguts podem contrastar les diverses dades que hem trobat. Com es pot observar amb les dades trobades in situ, i les correccions explicades posteriorment tot concorda perfectament. L'únic valor que ens trontolla és la primera projecció a la plaça cosa que no li trobem cap explicació.

### 3. Conclusions

De la taula resultant observem que pel punt situat a la plaça cal prendre el valor inferior, sinó, no hi ha projecció. Això ens suposa que el fenomen seria visible entre el 12 i el 28 de juny, és a dir, entre aquestes dates tindríem projecció del Sol en aquest punt de la façana de la plaça, la projecció inicial a casa Colau. Aquest fet no l'hem pogut corroborar del tot, ja que fins el dia 17 no vam poder observar el fenomen per causa de la nuvolositat a primera hora del matí, sí, però que vam poder veure que la projecció del Sol en aquest punt de la plaça acaba el 27, data a partir de la qual ja no s'observa com els dies anteriors, la qual cosa confirmaria els càlculs realitzats.

Pel que fa a la figura del Sol, les dates són més obertes. Prenent el màxim ventall segons els càlculs efectuats tindríem projecció del sol en aquest punt des de l'1 de juny i fins el 7 de juliol. De nou, no disposem de dades fins el 16 de juny, però si que vam poder observar que tot i que fins a l'1 de juliol s'observa la projecció sobre el sol aquesta apareix però de forma irregular i quasi imperceptible.

De tot el càlcul podem concloure que efectivament hi ha un fenomen solar a la Plaça d'Horta que fa que al solstici d'estiu i uns dies abans i després del mateix, el sol es projecti sobre un punt de la plaça i es desplaça fins arribar a la figura de Sol situada a la façana de la casa del carrer de les grasses. El fenomen es produeix pràcticament a la sortida del Sol, aproximadament a les 6:25 del matí i finalitza cap a les 7:12. Sempre en hora oficial.

Veient l'ampli ventall de dates en que es dona no podem confirmar matemàticament que es tracti d'un fenomen intencionat, ja que segurament si fos a propòsit tindria un ventall de dies més exacte, no tant extens. Doncs ans al contrari, probablement es tracti d'un fenomen casual del qual algú se'n va adonar i amb el temps s'ha convertit en una curiositat seguida per la gent del poble...tanmateix diversos fets ens porten a qüestionar la nostra pròpia conclusió, és a dir, no podem assegurar amb certesa i seguretat que el fenomen sigui a propòsit o intencionat.

En primer lloc ens crida l'atenció que la projecció del sol sobre la façana de la plaça, ho fa sobre un lloc on s'observa que la ma de l'home l'ha marcat. Hi ha una mena de marca de possible origen natural, del qual en desconeixem l'origen i a més, no deixa de ser curiós que en el mateix lloc a ni un metre al seu costat encara s'observa l'espai destinat a contenir una figura religiosa (actualment desapareguda)<sup>6</sup>. Potser que hi fos per que està prop de la pròpia església i n'hi ha d'altres per Horta, però ens obre dubtes la casualitat. És a dir, no podem assegurar, per falta de dades, si aquest marca a la paret de la façana de casa Colau és perquè algú ho va fer expressament per marcar el recorregut del sol en aquest fenomen, cosa estranya per la seva manca d'estètica, o algú adonant-se a posteriori que la llum dels rajos solars es projectava allí la va fer o simplement és una marca deguda a l'erosió de la pedra. Amb una conversa amb el propietari de la casa del Racó de les Grases, lloc de l'última projecció, em va comentar que hi havia una petita marca a la pedra de la zona on ell va col·locar la figura del Sol a la façana del edifici, per això ell la va col·locar allí. Possiblement també aquesta marca està relacionada amb aquest esdeveniment.

L'altre element el tenim en la pròpia arquitectura de les cases implicades. La casa adossada que hi ha a la església s'ha construït respectant l'escaleta, mentre que a l'altre costat no existeix separació. És una qüestió curiosa la separació entre casa de Don Pedro i l'Església, alhora estanya i peculiar degut a que no se li aprecia una funció clara per a que serveixi. Quin sentit té deixar aquesta escaleta a part de deixar el pas de la llum en aquest fenomen?



*Fig. 29 Marca on es projecta la primera projecció del fenomen.*

---

<sup>6</sup> Segurament la figura que hi havia a la capelleta fou d'un Sant antic del poble.

En segon lloc, també ens ha cridat l'atenció és que a la pròpia església consagrada a Sant Joan (efemèride del solstici) trobem al seu interior un motiu solar sense explicació. És troba un sol antropomòrfic en una arc de volat situat a la segona construcció de l'església a l'any 1513, això significa que anteriorment ja s'havia construït la part que actualment és l'esclatxa. Es pot assegurar que en cap església catòlica hi ha un homenatge al sol en un arc de volta, és una figura única. Amb això se'ns obre la possibilitat que volguessin fer referència a aquest esdeveniment solsticial degut a la relació lògica que és pot establir. Posant en cas que això fos cert, tampoc podríem saber si ho van fer perquè se'n van adonar que passava això els dies al voltant del solstici d'estiu o perquè sabien que va ser fet expressament.

Per altra banda, un altra possible explicació per aquesta figura del sol a l'arc de volta també podria ser la relació que hi ha entre el nom de la població Horta (anteriorment anomenada Orta) i Orto, que significa sortida del sol.

Finalment un altre fet que podria tenir relació i influència amb aquest esdeveniment, és que al Convent de la Mare de Déu dels Àngels, a uns pocs quilòmetres de l'Església, a més en semblants èpoques de construcció hi ha un fenomen solar i que a més a més succeeix al solstici d'estiu igual que el fenomen de l'estudi. Segons la hipòtesi sobre el fenomen solsticial al Convent de Miguel Giribets, autor de l'estudi corresponent, està elaborat a propòsit. Es podria establir una cert lligam entre ambdós fenòmens però tampoc en tinc arguments.

A conseqüència de l'estreta relació entre aquests fenòmens, les diverses marques i el sol a l'arc de volta podríem estar parlant d'un fenomen possiblement intencionat però tampoc dispo de dades objectives per poder assegurar-ho per complet, alhora que no ho puc descartar. Aquests fets per si sols no ens confirmen ni ens neguen la intencionalitat del fenomen, com hem dit, ens obren dubtes a més interrogants.

En conclusió, no puc donar una resposta a la hipòtesi inicial del treball, sobre si és un fenomen elaborat i pensat a propòsit, o una casualitat. Deixo aquesta pregunta

per ara a l'opinió subjectiva de cadascú després d'aportar les diverses dades de l'estudi. Personalment, després de tot el treball, m'he quedat amb la sensació amarga de no poder donar una resposta que assegurí al 100% una decisió sobre el fenomen, però em quedo en la certesa d'haver investigat al màxim, tot i la escassa informació sobre sobretot en la part descriptiva dels edificis, segurament si hi hagués més informació s'hagués pogut definir més coses en general sobre aquest treball. He investigat a fons i a gust degut a que estem parlant d'un tema bastant proper a mi i que m'ha captivat des de sempre.

Una proposta per desenvolupar més aquest treball podria ser fer un estudi més extens pel que fa als càlculs matemàtics i observacions per a cada projecció diferent del fenomen, ja que jo simplement he investigat la projecció final, sobretot, i la inicial. Seria una manera per descriure totalment la projecció de la llum en aquest esdeveniment. També una tasca que seria molt interessant, seria eixamplar la discussió arquitectònica de l'esclatxa, perquè és una cosa molt curiosa. Una altra proposta d'estudi que constaria d'un treball més complex seria estudiar el ventall de dies per poder aclarir i acotar el temps en el qual succeeix el fenomen mitjançant la trigonometria, calculant els angles i longituds de la superfície de l'esclatxa i comparant-ho amb els rajos solars.

## 4. Bibliografia

### Articles de revistes o publicacions periòdiques

- CIURANA I PRAST, Judit. “Evidències arqueològiques del castell i la vila medieval d’Orta de Sant Joan”. *Sovatge*. 2020, núm. 3, p. 19-35.
- HANNAH, Robert; MAGLI, Giulio. “The role of the sun in the Pantheon’s design and meaning”. *Numen*. Volum 58, nº 4, 2011, p. 486-513.
- VILA I CARABASA, Josep. M. “Aproximació històrica i arqueològica al procés de formació del nucli antic d’Horta de Sant Joan”. *Revista catalana d’arqueologia medieval*. 2010-2012, núm. 6/7, p. 126-151
- VILA I CARABASA, Josep. M. “Estudi històric sobre el procés de formació i creixement del nucli antic d’Horta de Sant Joan i dels seus recintes murats”. *Sovatge*. 2019, núm. 2, p. 11 - 91.
- RUIZ AGUILERA, Daniel; POL I LLOMPART, Josep Lluís. “Els Efectes de la llum solar a la Seu de Mallorca”. *Actes d’història de la ciència i de la tècnica*. Nova època. 2010, núm. 3, p. 37-47.

### Documents en línia

- CERDO, Mariona. La luz de Galileo entra a la Seu [En línia]. *El Mundo*, 2012. <https://www.elmundo.es/elmundo/2012/02/08/baleares/1328688568.html> [Consulta:25 de maig de 2020]
- DIGITAL BOOKS. Fundamentos de la energía solar [En línia]. <http://reader.digitalbooks.pro/content/preview/books/39121/book/OEBPS/Text/chapter1.html> [Consulta: 19 d’abril de 2020]

- GIRIBETS, Miguel. Temas de Historia. [En línia]. Blogger, 2016.  
<[http://mgiribetshistoria.blogspot.com/2015/09/horta-de-sant-joan\\_6.html](http://mgiribetshistoria.blogspot.com/2015/09/horta-de-sant-joan_6.html)>  
[Consulta: 27 d'abril de 2020]
- Universo de Quetzal. (2019, març 9). Arqueoastronomía. Solsticios y Equinoccios. Su importancia y diferencias. [Video]. Youtube.  
<<https://www.youtube.com/watch?v=NMkbfoMwA-w&t=209s>>  
[Consulta: 22 de juliol de 2020]
- RIUS, Mayte. Las matemáticas nos rodean (y van a más) [En línia]. La Vanguardia, 2012.  
<<https://www.lavanguardia.com/estilos-de-vida/20120601/54299368626/las-matematicas-nos-rodean-y-van-a-mas.html>>  
[Consulta: 22 de maig de 2020]
- PLANETCALC, (Calculadoras en línea) [Posición del sol](#)
- ING (Instituto Geográfico Nacional de España), <https://www.ign.es/web/gmt-declinacion-magnetica>
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration d'EEUU), <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml>

## Obres

- ALMUNI, Victòria. *La Catedral de Tortosa als segles del Gòtic*. Onada, Benicarló, 2007.

- MUÑOZ I SEBASTIÀ, Joan-Hilari. *La Parròquia de Sant Joan Baptista d'Orta en el segle del Renaixement*. Ecomuseu dels Ports, Horta de Sant Joan, 2009.
- SOLER GAYÀ, Rafael. *Diseño y Construcción de relojes de Sol y de Luna. Canales y puertos colegio de ingenieros de caminos*, Madrid, 1997.
- CARBÓ I SABATÉ, Salvador. *Guia d'Horta de Sant Joan*. Els llibres de la Medusa, Tarragona, 2007.

## Imatges

- Fig. [1] Font pròpia
- Fig. [2] Font pròpia
- Fig. [3] Font pròpia
- Fig. [4] Font pròpia
- Fig. [5] Font pròpia
- Fig. [6] Font pròpia
- Fig. [7] Font pròpia
- Fig. [8] Font pròpia
- Fig. [9] (Muñoz i Sebastià, 2009, p.140)
- Fig. [10] (Muñoz i Sebastià, 2009, p.109)

- Fig. [11] (Vila i Carabasa, 2019)
- Fig. [12] Font pròpia
- Fig. [13] Font pròpia
- Fig. [14] (Arxiu Bastardes)
- Fig. [15] Font pròpia
- Fig. [16] Font pròpia
- Fig.[17]<<https://blocs.xtec.cat/geoide/2018/10/11/els-solsticis-i-els-equinoccis/>>
- Fig. [18] <<https://naukas.com/2011/08/16/el-panteo-de-roma-un-gigantesco-reloj-solar/>>
- Fig.[19]<<https://naukas.com/2011/08/16/el-panteo-de-roma-un-gigantesco-reloj-solar/>>
- Fig. [20] <<https://www.publico.es/culturas/sol-ilumina-ramses-ii-templo.html>>
- Fig.[21] <<https://www.elmundo.es/elmundo/2012/02/08/baleares/1328688568>>
- Fig.[22] <<https://www.elmundo.es/elmundo/2012/02/08/baleares/1328688568>>
- Fig. [23] <[http://mgiribetshistoria.blogspot.com/2015/09/horta-de-sant-joan\\_6.html](http://mgiribetshistoria.blogspot.com/2015/09/horta-de-sant-joan_6.html)>

- Fig. [24] <[http://mgiribetshistoria.blogspot.com/2015/09/horta-de-sant-joan\\_6.html](http://mgiribetshistoria.blogspot.com/2015/09/horta-de-sant-joan_6.html)>
- Fig.[25] <[https://www.researchgate.net/figure/Altura-y-azimut-Fuente-Elaboracion-propia\\_fig4\\_318323252](https://www.researchgate.net/figure/Altura-y-azimut-Fuente-Elaboracion-propia_fig4_318323252)>
- Fig. [26] <<http://reader.digitalbooks.pro/content/preview/books/39121/book/OEBPS/Text/chapter1.html>>
- Fig. [27] <[https://es.wikipedia.org/wiki/Refracci%C3%B3n\\_atmosf%C3%A9rica](https://es.wikipedia.org/wiki/Refracci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica)>
- Fig. [28] Font pròpia
- Fig. [29] Font pròpia

## 5. Annexos

- 1. Panell informatiu

Juntament amb el meu tutor, vam tenir la interessant idea de fer un panell informatiu sobre el fenomen, amb la intenció de poder donar més difusió i ressò a aquesta gran curiositat i particularitat del poble d'Horta de Sant Joan. Per fer-ho vam parlar amb l'ajuntament d'Horta, el qual des del principi els hi ha agradat la idea.

Hem seguit un estil de panell com els que ja hi ha posats al poble, a diferents llocs d'interès. Al panell hi haurà una breu i clara descripció de 96 paraules del que succeeix al fenomen, quan i on. Una cosa que seria molt interessant, i la qual l'ajuntament n'està treballant, és posar un codi QR al panell.



*Il·lustració 1 Panell informatiu amb el text referent al fenomen, situat a la plaça Sant Salvador.*

A posteriori de la presentació del treball:

L'acte d'inauguració d'aquest panell ha estat realitzat el 24 d'abril del 2021, durant els dies de les festes d'abril d'Horta de Sant Joan. Jordi Martín, actual alcalde d'Horta de Sant Joan ha descobert el panell informatiu i ha agraït el treball com quelcom que posa en valor un fet fins ara desconegut per molta gent del poble, després m'ha cedit la paraula i he pogut explicar a la gent combregada d'on va vindre la idea del panell i la importància d'aquest fenomen solsticial tan curiós.



*Il·lustració 2 Fotografia de la inauguració del panell amb Anna, directora del centre, Fernando Chavarria, tutor del treball, jo i els representants de l'ajuntament Carles Aquirre i Jordi Martín.*

- 2. Excel amb els càlculs solars i a continuació càlcul manual de la projecció del sol a la Figura del Racó de les Grasses

Cerqueu al menú (Alt+F)

100% € % 0,00 123 Times New... 9 B I S A

Dades emprades											
GPS				Brújula		Cálculos auxiliares					
Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Acimut	Latitud	Longitud	Acimut	Data inici	Solstici		
Figura Sol - Raco de les Grasses	40°57'14.40"N	00°19'00.40"E	543	071°50'	40,954	0,3167777778	71,83333333	1/1/2020	6/20/2020		
Projecció inicial sobre Plaça	40°57'14.40"N	00°19'00.40"E	545	066°50'	40,954	0,3167777778	66,83333333				
Correccions alçada	Mesura	Disc Solar	Orografia	Error associat	Total	Refracció	Declinació	Formula de Cooper	Data inici fenomen	Dies fins al solstici	Final del fenomen
Figura Sol - Raco de les Grasses	9	0,5	4	0,7	14,2	14,14	22,86	159,3968835	6/9/2020	11,00	7/1/2020
	9	0,5	4	0	13,5	13,43	22,41	155,1653551	6/5/2020	15,00	7/5/2020
	9	0,5	4	-0,7	12,8	12,73	21,97	151,7440537	6/1/2020	19,00	7/9/2020
Projecció inicial a la Plaça	5	0,5	4	0,7	10,2	10,11	24,05	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
	5	0,5	4	0	9,5	9,41	23,59	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
	5	0,5	4	-0,7	8,8	8,70	23,13	162,9013517	6/12/2020	8,00	6/28/2020

Todos los datos deben introducirse en el formato adecuado:  
 Latitud: GG°MM'SS.MM"X  
 Acimut: GGG°MM'  
 Altura: GG°MM' o 0 si se desconoce la misma

- Càlcul trigonomètric de la projecció a la Figura del Sol, dia 20 de juny, (SOLSTICI).

$$N = 365/360 \text{ arc cos}[-(23,43^\circ/23,45^\circ)] - 10 = 170,35 \rightarrow \mathbf{19/20 \text{ juny.}}$$

$$\sin \alpha = \sin 15,05^\circ \cdot \sin 40,95^\circ + \cos 40,95^\circ \cdot \cos 71,83^\circ \cdot \cos 15,05^\circ = \mathbf{23,43^\circ}$$

$$\cos \varepsilon = \frac{(\sin 15,05 - \sin 40,95 \cdot \sin 23,43)}{(\cos 40,95 \cdot \cos 23,43)} = 90,08 \rightarrow 90,08 : 15 = 6,01$$

$$\rightarrow 12 - 6,01 = \mathbf{5,99h.}$$

$$\sin o = (\sin 40,95 \cdot \sin 23,43 + \cos 40,95 \cdot \cos 23,43 \cdot \cos -90,08) = \mathbf{15,05^\circ}$$

$$\tan \beta = \frac{(\sin -90,08)}{(\sin 40,95 \cdot \cos -90,08 - \cos 40,95 \cdot \tan 23,43)} = 71,83^\circ$$

- Càlcul trigonomètric de la projecció a la Figura del Sol, dia 1 de juny, (1r dia).

$$N = 365/360 \operatorname{arc} \cos[-(21,97^\circ/23,45^\circ)] - 10 = 151,75 \rightarrow \mathbf{1 \text{ juny.}}$$

$$\sin \alpha = \sin 12,73^\circ \cdot \sin 40,95^\circ + \cos 40,95^\circ \cdot \cos 71,83^\circ \cdot \cos 12,73^\circ = 21,97^\circ$$

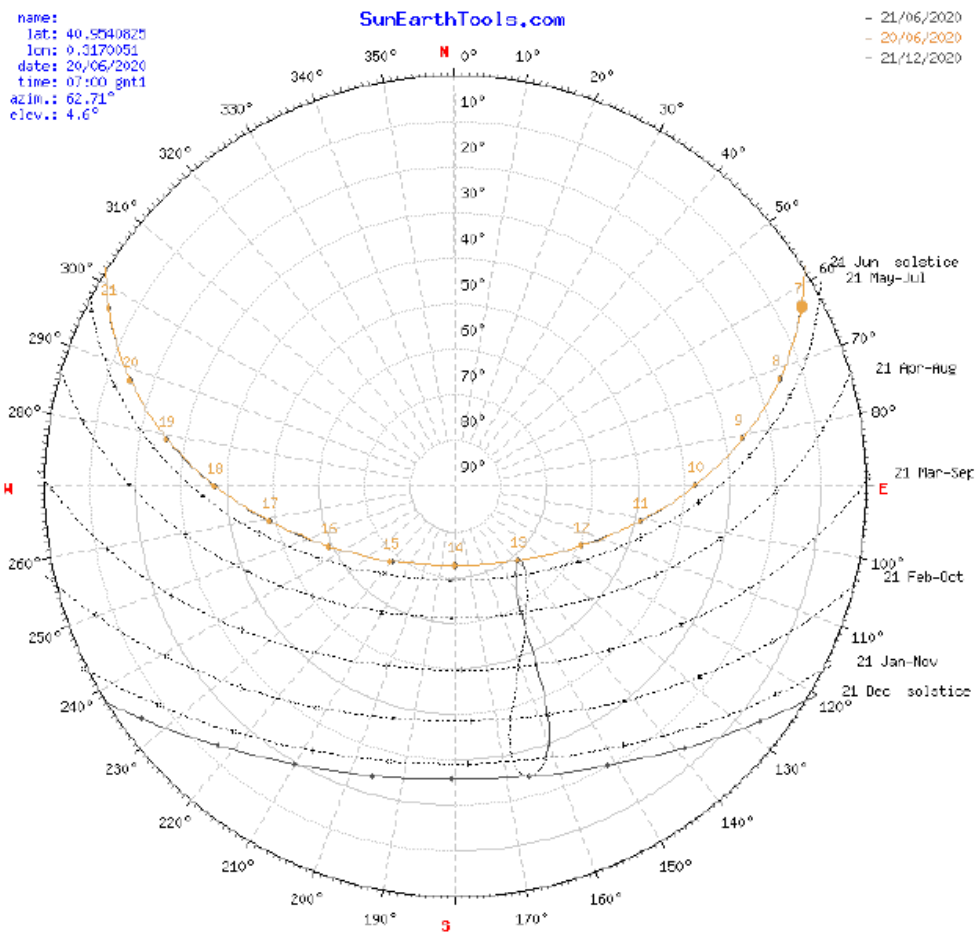
$$\cos \varepsilon = \frac{(\sin 12,73 - \sin 40,95 \cdot \sin 21,97)}{(\cos 40,95 \cdot \cos 21,97)} = 92,04 \rightarrow 92,04 : 15 = 6,13$$

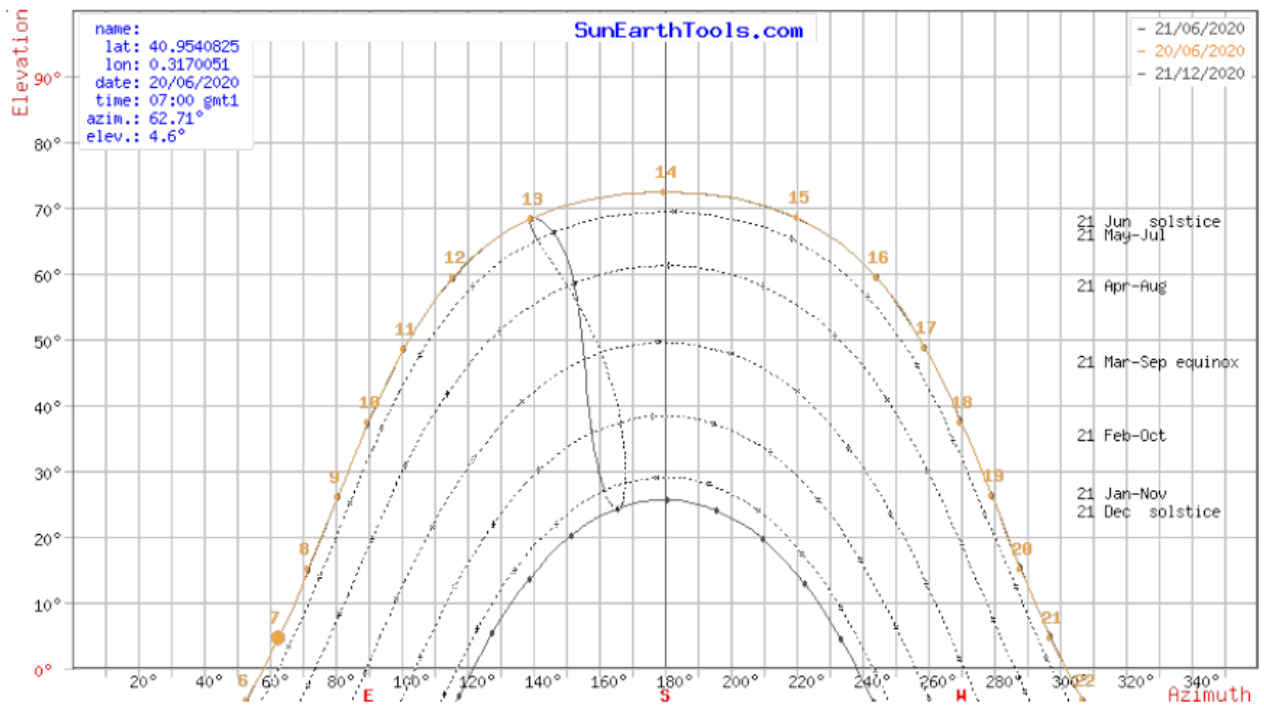
$$\rightarrow 12 - 6,13 = \mathbf{5,86h.}$$

$$\sin o = (\sin 40,95 \cdot \sin 21,97 + \cos 40,95 \cdot \cos 21,97 \cdot \cos -92,04) = 12,73^\circ$$

$$\tan \beta = \frac{(\sin -92,04)}{(\sin 40,95 \cdot \cos -92,04 - \cos 40,95 \cdot \tan 21,97)} = 71,83^\circ$$

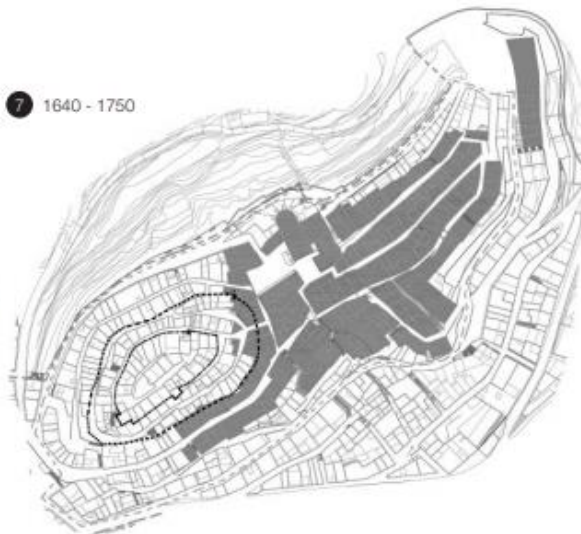
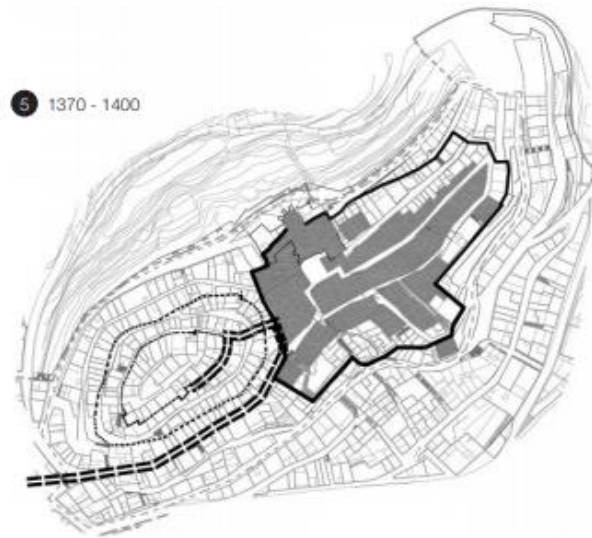
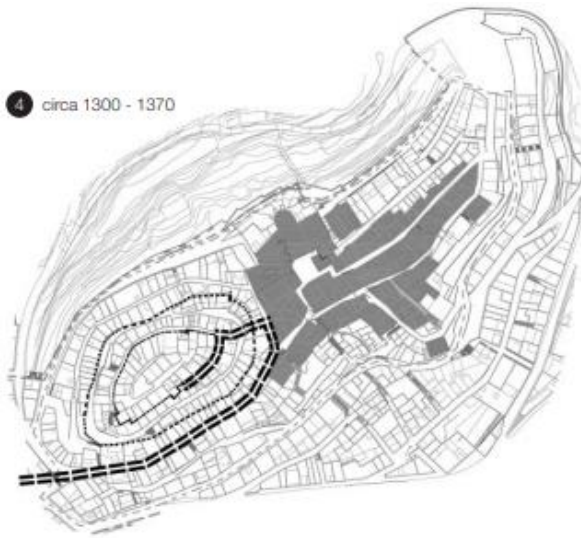
- 3. Sun Earth Tools







- 5. Plànols sobre la hipòtesi del creixement del nucli de la població segons la revista catalana Arquologia Medieval.



146