

James Webb Space Telescope

Sergi Blanco Cuaresma

18 de gener de 2011

Resum

Descripció dels aspectes més rellevants pel projecte James Webb Space Telescope, successor natural del Hubble Space Telescope (HST) a nivell operatiu i del Spitzer Space Telescope. La missió està liderada per la NASA amb la col·laboració de la ESA i la CSA.

Índex

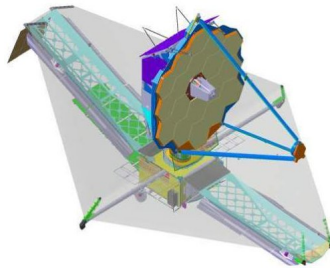
1	Objectiu científic	3
1.1	El final de l'edat fosca	3
1.2	Formació de galàxies	4
1.3	El naixement d'estrelles i sistemes protoplanetaris	5
1.4	Sistemes planetaris i origen de la vida	5
2	Característiques generals	6
3	Organitzacions	7
3.1	NASA: Goddard Space Flight Center	7
3.2	ESA	7
3.3	CSA	7
3.4	Empreses	7
3.4.1	Northrop Grumman	7
3.4.2	Ball Aerospace	7
3.4.3	Teledyne	8
3.4.4	Carl Zeiss Optronics GmbH	8
3.4.5	ComDev	8
4	Llançament	8
5	Òrbita	10
6	Telescopi	11
6.1	Infraroig	11
6.2	Òptica	11
7	Instruments	12
7.1	NIRCam Near IR Camera	13
7.2	NIRSpec Near IR Spectrograph	14
7.3	MIRI Mid IR Instrument	16
7.4	Tunable-filter imager	17
8	Hardware de suport	17
8.1	ISIM - Integrated Science Instrument Module	17
8.2	FGS Fine Guidance Sensor	18
9	JWST en comparació	19

10 Comunicacions	19
11 Operació	20
11.1 Digitalització i tractament inicial de les dades	20
11.2 Centre d'operacions	20
12 Gestió del projecte	21
12.1 Cost	21
12.2 Planificació	21

1 Objectiu científic

Els objectius científics del James Webb Space Telescope (d'ara endavant JWST) es troben agrupats principalment en quatre grans àrees:

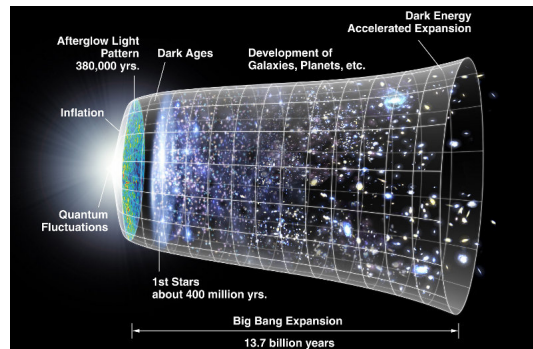
1. El final de l'edat fosca: Identificar les primeres fonts lluminoses de l'univers, i determinar el procés d'ionització de l'univers primerenc.
2. Formació de galàxies: Determinar com les galàxies en general, la matèria fosca, el gas, les estrelles, el metall, les estructures morfològiques i els nuclis actius van evolucionar des de l'època de la re-ionització fins a l'actualitat.
3. El naixement d'estrelles i sistemes protoplanetaris: Descobrir més detalls sobre el naixement i l'evolució d'estrelles des de les protoestrelles fins a l'origen dels sistemes planetaris.
4. Sistemes planetaris i origen de la vida: Determinar les propietats físiques i químiques dels sistemes planetaris (incloent el sistema solar), i investigar la viabilitat pel desenvolupament de vida.



1.1 El final de l'edat fosca

A l'inici de l'univers, quan va tenir lloc el Big Bang, es va generar:

1. Energia fosca: responsable de la força d'acceleració còsmica (expansió de l'univers)
2. Matèria fosca: partícules de poca o nul·la interacció que només han pogut ser observades indirectament pels seus efectes gravitatoris.
3. Radiació còsmica microones de fons: generada quan l'univers tenia 380.000 anys de vida.
4. Fons còsmic de neutrins: generat quan l'univers tenia 2 segons de vida.
5. Hidrogen i Heli: formes més simples i abundants de matèria bariònica.
6. Traces de Liti, Beril·li i Bor.



Inicialment l'univers es va expandir i refredar fins a la formació de les primeres estrelles (denominada la població III) que, segons la teoria, haurien de tenir una massa de l'ordre de $30\text{-}300 M_{\odot}$ i ser milions de vegades més brillants. El seu temps de vida va ser de només uns pocs milions d'anys fins acabar produint supernoves (tipus II) o forats negres. Aquests últims van començar a capturar gas i estrelles per formar mini-quàsars, que més endavant es fusionarien i creixerien per acabar formant part del centre de galàxies.

Temps després de la formació de les primeres fonts de llum, l'hidrogen intergalàctic va ser re-ionitzat gràcies principalment a la radiació ultravioleta de les galàxies, tot i que els quàsars podrien haver contribuït també.

Algunes de les preguntes que es podrien arribar a respondre utilitzant el JWST:

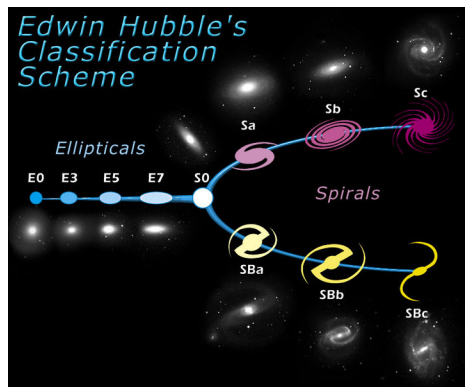
1. Quines van ser les primeres galàxies?
2. Com va tenir lloc la re-ionització?
3. Quines van ser les fonts que van causar la re-ionització?

Amb el JWST es podran observar les primeres galàxies i grups d'estrelles de la població III, les quals es van formar en una època a on encara no hi havia elements més pesats que l'Heli.

Per altra banda, cal destacar que degut a l'expansió de l'univers, la llum de les primeres galàxies (molt distants) es troba fortament desplaçada al vermell. Per tant el disseny de JWST focalitzat a l'infraroig és idoni per aquest tipus d'observació. No obstant, el factor d'absorció per àtoms d'hidrogen a la línia de visió suposarà una limitació significativa en les observacions.

1.2 Formació de galàxies

Actualment es coneix que les galàxies es formen en pous de potencial generats per grans concentracions de matèria fosca. Si bé la física teòrica ofereix models per intentar entendre el naixement d'una galàxia i la seva evolució, encara no coneixem realment els detalls de com s'han format, que és el que controla la seva forma, com els elements químics són redistribuïts per tota la galàxia o fins a quin punt els forats negres centrals influeixen al conjunt.



Davant de tantes incògnites, hi ha un conjunt de preguntes clau que es podrien arribar a resoldre utilitzant el JWST:

1. Com es formen les diferents galàxies identificades a la seqüència de Hubble?
2. Com es formen els elements més pesats?
3. Quins processos físics són clau per determinar les propietats d'una galàxia?
4. Quin és el rol de les regions d'alta generació d'estrelles i els forats negres centrals?

En aquest sentit, JWST observarà galàxies llunyanes, i per tant d'edats més joves, realitzant espectrografies per estudiar la seva morfologia, composició etc.

1.3 El naixement d'estrelles i sistemes protoplanetaris

A diferència de les galàxies (no va ser fins el 1925 que Edwin Hubble va demostrar l'existència d'altres galàxies a banda de la Via Làctea), les estrelles han sigut objecte d'estudi durant milers d'anys.

Les estrelles es creen de forma constant i al seu interior tenen lloc fusions nuclears, mitjançant les qual s'emet radiació electromagnètica a l'exterior. Addicionalment, al seu voltant pot existir un disc protoplanetari que acabin formant planetes com els del sistema solar.



En aquest sentit, actualment ja s'han identificat diversos exoplanetes (planetes que orbiten altres estrelles). No obstant, degut a un biaix per les tècniques emprades, la majoria d'aquests són molt més massius que la terra, gasosos com Júpiter i tenen òrbites molt properes a la seva estrella. Precisament aquests casos haurien de ser molt menys probables segons les teories de formació i evolució que tenim actualment, els planetes rocosos i petits es formen en òrbites properes i els gasosos en zones més allunyades de l'estrella (com observem al sistema solar).

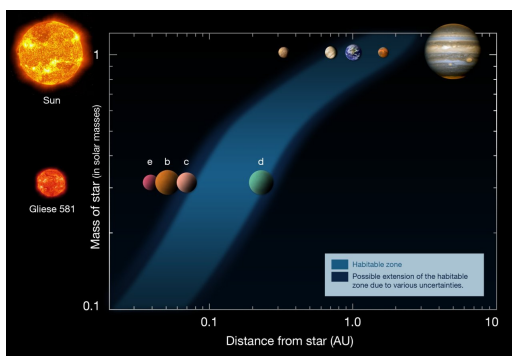
És possible que amb JWST podríem arribar a respondre les següents preguntes clau:

1. Com col·lapsa un núvol protoestel·lar?
2. Com afecta l'entorn a la formació d'estrelles i viceversa?
3. Com es formen els sistemes protoplanetaris?
4. Com el gas i el pols col·lapsa per formar sistemes planetaris?

1.4 Sistemes planetaris i origen de la vida

Entendre la formació de planetes i, en especial, els mecanismes clau que influeixen en la creació d'un entorn idoni per a l'origen de la vida, és un dels grans reptes de la humanitat. En aquest àmbit, encara no es coneixen els detalls de com es formen els planetes a partir d'un disc protoplanetari, així com quina es l'evolució química que pot facilitar l'aparició de la vida.

Com possible exemple d'exoplaneta habitable, durant el 2010 es va identificar un orbitant al voltant de l'estrella Gliese 581.

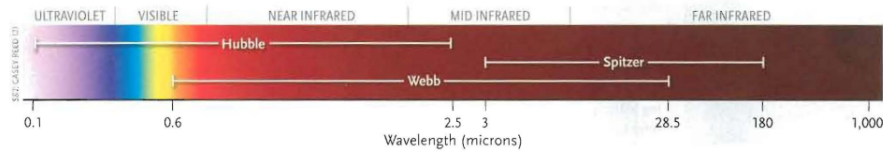


JWST pot ajudar a entendre aspectes com:

1. Quin és el procés exacte de formació dels planetes?
2. Com es pot arribar a generar una zona habitable en un sistema solar?

2 Característiques generals

El JWST serà un observatori espacial que operarà principalment al infraroig proper i mitja, així com una part del visible (des dels 0,6 fins als 28,5 micròmetres). El nom es va establir en honor al segon administrador de la NASA, James Webb, qui va liderar les missions Apollo per l'exploració lunar.



L'observatori proporcionarà mecanismes per apuntar, manteniment de l'òrbita i comunicacions amb la terra. Així mateix, es trobarà equipat amb un mirall de 6,5 metres, compost per 18 segments individuals, que proporcionaran una àrea recollectora de 25 metres quadrats.

A banda de la NASA, a la missió també es troben implicades l'agència europea (ESA) i la canadenca (CSA). Algunes dades clau:

Data prevista de llançament: 2014-15

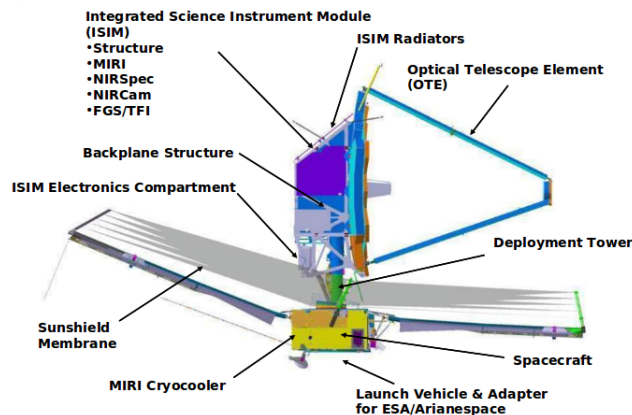
Lloc de llançament: Guiana Space Centre Kourou, French Guiana

Duració de la missió després del llançament: 5 anys. No obstant, disposarà de suficients aprovisionaments per operar durant 10 anys.

Massa: 6.200 kg

Instruments dissenyats especialment per estudiar a l'infraroig:

- Infraroig proper:
 - NIRCam: Near-IR camera
 - NIRSpec: Near-IR multiobject spectrograph
 - TFI: Tunable filter imager
- Infraroig mitja:
 - MIRI: Mid-IR instrument



Cal destacar que per assolir el objectius del satèl·lit es requereix molta precisió a la mesura degut a la feblesa d'allò que es vol observar. En aquest sentit, per evitar interferències del propi instrument, es necessari treballar a temperatures molt baixes (per sota dels 50 K). L'observatori utilitzarà refrigeració passiva mitjançant un escud que minimitzarà l'efecte de la radiació del sol, la terra i la lluna.

En quant al temps d'observació, la major part (80%) es destinarà a la comunitat astronòmica internacional mitjançant la presentació anual de propostes/oportunitats d'observació que seran avaluades per peer-review.

3 Organitzacions

3.1 NASA: Goddard Space Flight Center

El Goddard Space Flight Center¹ (GSFC), un dels laboratoris més importants de la NASA² situat a 10.5 km de Washington D.C., lidera la gestió del projecte d'observació de la mà del responsable científic John C. Mather, astrofísic i cosmòleg guanyador del premi Nobel en física pel seu treball al satèl·lit COBE (Cosmic Background Explorer Satellite). Addicionalment, el GSFC és el responsable de proveir la instrumentació científica del satèl·lit (Integrated Science Instrument Module, ISIM) que es detalla a la secció d'instrumentació.

3.2 ESA

L'Agència Espacial Europea³ contribueix al projecte aportant al voltant de 300 milions d'euros i sent un col·laborador clau pel llançament de la nau espacial amb un Ariane 5. Addicionalment, en conjunt amb un consorci d'institucions europees, participa en el desenvolupament de l'instrument MIRI (camera i espectròmetre que permet observar al rang mig de l'infraroig).

3.3 CSA

El desenvolupament de TFI (càmera d'ús general per l'infraroig proper) i FGS (sistema per estabilitzar i controlar la orientació del satèl·lit) es a càrrec de la Canadian Space Agency⁴ sota la responsabilitat científica de John Hutching (Herzberg Institute of Astrophysics, National Research Council of Canada). L'agència contribueix al projecte amb aproximadament 39 milions de dòlars.

3.4 Empreses

Principals empreses que participen en el desenvolupament i construcció del JWST.

3.4.1 Northrop Grumman

Northrop Grumman⁵ és l'empresa americana que s'encarrega del desenvolupament i construcció de diferents elements del satèl·lit, entre els que s'inclou tant el bus com l'escud de protecció contra el sol.

3.4.2 Ball Aerospace

Ball Aerospace⁶ és l'empresa americana encarregada de desenvolupar i construir la major part de l'element òptic del telescopi JWST (OTE, Optical Telescope Element).

En quant als segments del mirall primari, el secundari i el terciari seran manufacturats per:

- Axsys Technologies⁷
- Brush Wellman⁸
- Tinsley Laboratories⁹

Els miralls seran entregats a Ball Aerospace per al seu muntatge i prova funcional.

¹<http://www.gsfc.nasa.gov/>

²<http://www.nasa.gov/>

³<http://www.esa.int/>

⁴<http://www.asc-csa.gc.ca/>

⁵<http://www.northropgrumman.com/>

⁶<http://www.ballaerospace.com/>

⁷<http://www.axsys.com/>

⁸<http://www.brushwellman.com/>

⁹<http://www.asphere.com/>

3.4.3 Teledyne

Teledyne¹⁰, també coneguda com Rockwell Scientific Company, és l'empresa responsable del desenvolupament dels detectors d'infraroig dels instruments NIRCam, NIRSpec i TFI.

3.4.4 Carl Zeiss Optronics GmbH

Carl Zeiss Optronics GmbH és l'empresa alemana que participa en el disseny, integració i prova dels mecanismes de roda (*wheel*) i òptica dels instruments:

- MIRI: càmera i espectròmetre que permet observar al rang mig de l'infraroig
 - Contractat per *Max Planck Institute for Astronomy*¹¹: Institut alemany de recerca de la Max Planck Society (associació sense ànim de lucre).
- NIRSpec: espectrògraf per longituds d'ona des del limit del visible fins a l'infraroig proper
 - Contractat per *Astrium*¹²: Subsidiària aeroespacial d'EADS (European Aeronautic Defence and Space Company)

3.4.5 ComDev

La CSA té com a contractista principal a ComDev¹³ pel desenvolupament del TFI (càmera d'ús general per l'infraroig proper) i el FGS (sistema per estabilitzar i controlar la orientació del satèl·lit).

4 Llançament

El llançament es portarà a terme per un Ariane 5 ECA, vehicle europeu dissenyat per posar satèl·lits en òrbita geostacionària i posar càrregues en òrbita baixa, creat per l'Agència Espacial Europea i comercialitzat per Arianespace.



El llançador presenta 2 etapes a més de la propulsió inicial:

1. Per al llançament inicial hi ha dos propulsors i un motor de combustible sòlid (fuel) que proporcionen una força de 6.470 kN durant 275 segons.
2. A la primera etapa l'Ariane 5 ECA utilitza un motor Vulcain 2 que s'alimenta per oxigen líquid + hidrogen líquid, proporcionant una força de 1.340 kN durant 431 s.

¹⁰<http://www.teledyne-si.com/>

¹¹<http://www.mpia.de/>

¹²<http://www.astrium.eads.net/>

¹³<http://www.comdev.ca/>

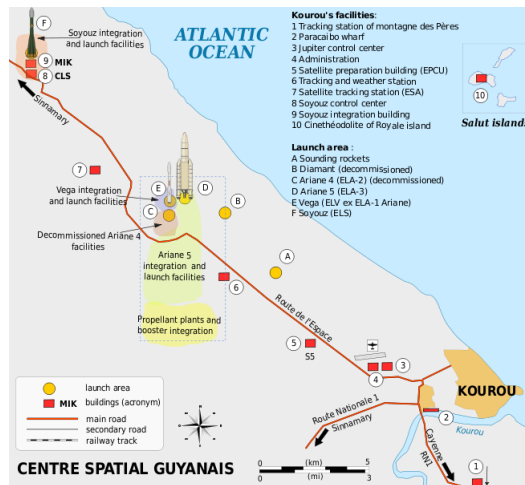
3. La segona etapa (ESC-A, Etage Supérieur Cryogénique-A) es propulsa pel motor de coet criogènic europeu HM7B, el qual s'alimenta d'oxigen líquid + hidrogen líquid i proporciona una força de 64,7 kN durant 446 s.

Algunes dades clau de Ariane 5 ECA:

Característica	Valor
Fabricant	EADS Astrium
Alçada	59 m
Diàmetre	5.4 m
Massa	777.000 kg
Carga útil per òrbites de transferència geostacionàries	G: 6.200 kg G+: 6.950 kg GS: 6.100 kg ECA: 10.500 kg
Total llançaments	55 (G: 16, G+: 3, GS: 6) (ECA: 29, ES: 1)
Llançaments amb èxit	51 (G: 13, G+: 3, GS: 6) (ECA: 28, ES: 1)
Llançaments fracassats	2 (G: 1, ECA: 1)
Llançaments parcialment fracassats	2 (G)
Càrregues importants llançades	<ul style="list-style-type: none"> • Rosetta: estudi d'un cometa • Automated Transfer Vehicle: abastiment ISS • Herschel Space Observatory: telescopi infraroig llunya • Planck: estudi radiació de microones de fons

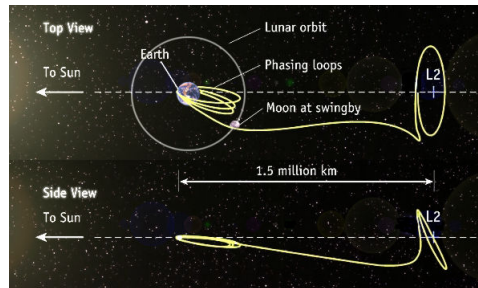
El llançament actualment es troba previst pel 2014-15 i tindrà lloc al Space Centre (Kourou, Guiana Francesa):



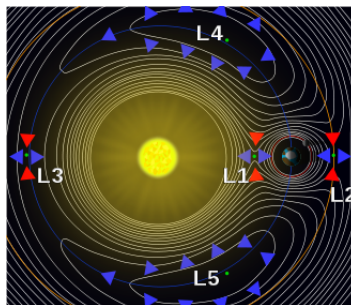


5 Òrbita

El JWST orbitarà al voltant del punt de Lagrange L2 a 800.000 km, d'aquesta forma ni la terra ni la lluna eclipsaran el sol i l'escud protector rebrà una quantitat d'energia relativament constant durant tota la durada de la missió. Aquesta es la raó principal per la que es va escollir una òrbita ampla, descartant els eclipsis de la terra per mantenir fred el telescopi.



Concretament, el JWST seguirà una òrbita Lissajous al voltant del punt de Lagrange L2. Aquest tipus d'òrbita és quasi-periòdica i en un sistema perfecte de 3 cossos es pot mantenir sense requerir propulsió. No obstant, a la pràctica el punt L2 és dinàmicament inestable (només són estables en el pla perpendicular a la línia que uneix les dues masses) i les petites desviacions de l'equilibri creixen exponencialment amb el temps.



Els punts de Lagrange són posicions de l'espai respecte a dos cossos (p.ex. el sol i la terra) en què un tercer (p.ex. satèl·lit), afectat només per la gravetat, pot estar estacionari respecte als altres dos.

En aquest sentit, donats dos cossos massius en òrbites circulars al voltant del seu centre de masses, existeixen cinc posicions en l'espai en les quals es pot situar el tercer cos (de massa negligible), de forma que mantingui la seva posició respecte als dos cossos més massius.

A 1.500.000 km de la terra, aproximadament 4 vegades la distància entre la lluna i la terra, es troba el punt de Lagrange L2 a on les forces gravitatòries del sol i la terra s'equilibren amb la força centrífuga del satèl·lit.

6 Telescopi

6.1 Infraroig

Exemple a la nebulosa carina vist en visible i infraroig amb el telescopi espacial Hubble. Es poden apreciar una quantitat molt superior d'estrelles a la mateixa regió:

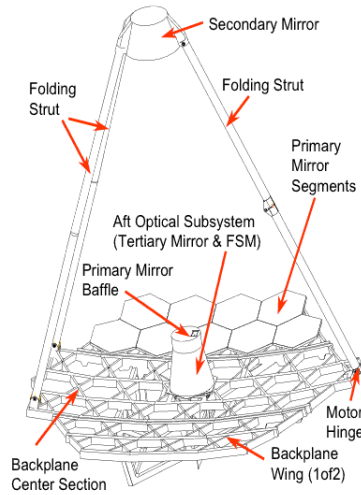


Les longitud d'ona a l'infraroig poden traspasar regions de pols com núvols moleculars i, per exemple, els centres de galàxies actives tenen una forta concentració de pols. Per tant, per poder veure el seu interior es convenient l'ús de l'infraroig.

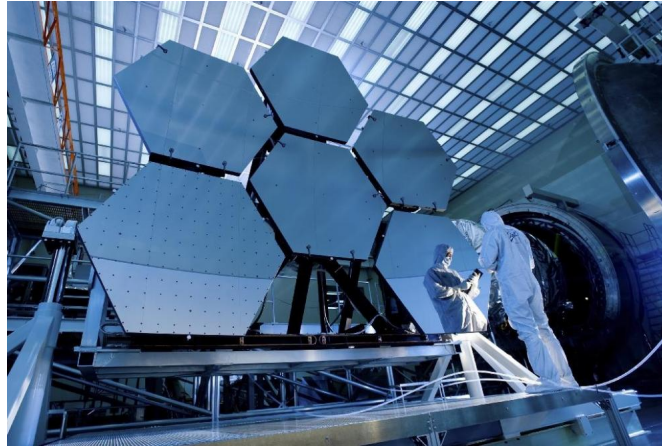
Addicionalment, la llum emesa pels objectes més llunyans pateixen d'un desplaçament al vermell degut a l'expansió de l'univers. Per tant, per veure'ls és més adient utilitzar la banda de l'infraroig.

6.2 Òptica

L'element òptic del telescopi (OTE, optical telescope element) disposa d'un disseny anastigmàtic (corregeix aberració esfèrica, coma i astigmatisme) de 3 mirall (primari, secundari i terciari). Amb una longitud focal de 131.4 m, el rati focal efectiu és de $f/20$.



El mirall primari té un tamany de 6,5 metres fet de beril·li (disposa d'un coeficient de expansió tèrmica molt petit per 30-80K) i recobert en or que proporciona una àrea recol·lectora de $25m^2$ (6 vegades més gran que la del Hubble). No és una peça única, sinó que es troba dividida en 18 segments hexagonals que seran desplegats un cop el telescopi es trobi a la seva òrbita. Aquest desplegament es durà a terme utilitzant sensors de front d'ona, similars als utilitzats per la tecnologia d'òptica adaptativa dels telescopis terrestres que realitzen microcorreccions en les posicions dels miralls per tal d'eliminar les distorsions introduïdes per l'atmosfera (*seeing*). No obstant, en el cas del JWST els sensors seran utilitzats només en el desplegament inicial del mirall i a priori no serà necessari realitzar més ajustaments futurs.



7 Instruments

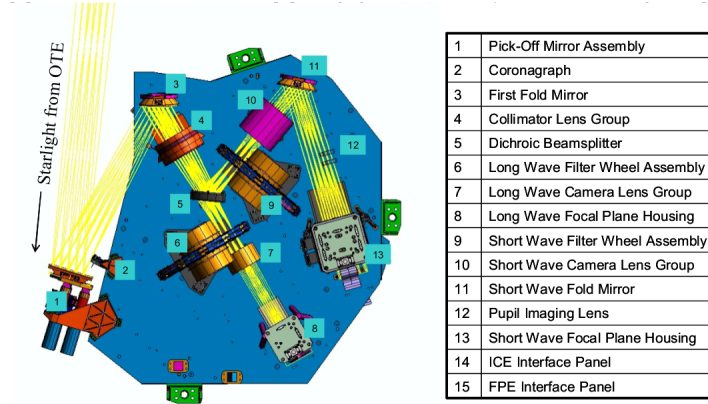
Els instruments del JWST formaran part del Integrated Science Instrument Module (ISIM), el qual s'ubicarà al darrera del mirall principal.

Instrument	Longitud d'ona (μm)	Resolució espectral ($\lambda/\Delta\lambda$)	Camp de visió	Tipus de detector
NIRCam	0.6 - 5	4, 10, 100	2 x (2.2'x2.2')	HgCdTe 2Kx2K píxels

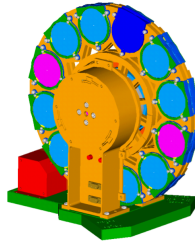
NIRSpec	0.6 - 5	100, 1000, 3000	3.4'x3.6' o 2"x2" si R~3000	HgCdTe 2Kx2K píxels
MIRI	5 - 28.5	~5, ~2000	3.5"x3.5" per λ curtes 7"x7" per λ grans	Si:As 1Kx1K píxels
TF	1.6 - 4.9	1.5, 100	3 x (2.2'x2.2')	HgCdTe 2Kx2K píxels

7.1 NIRCам Near IR Camera

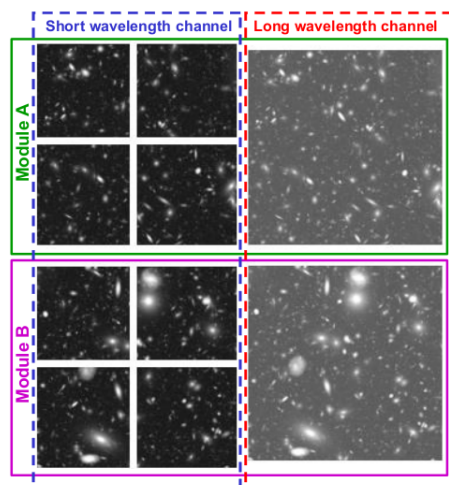
La camera, que requereix treballar a temperatures inferiors als 37 K, permetrà prendre imatges capturant les longituds d'ona des del limit del visible (0.6 micròmetres) fins al infraroig proper (5 micròmetres). Addicionalment, es podran observar dos longitud d'ona simultàniament donat que la llum es dividida i redirigida cap a dos detectors d'ona llarga i curta respectivament.



Per a cada raig dividit es disposa d'una roda (Filter Wheel Assembly) que té 12 filtres i 12 pupil·les seleccionables:



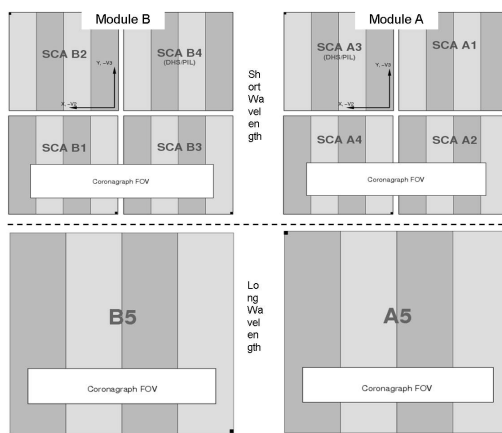
Cal destacar que l'instrument es troba completament duplicat i permet l'ús dels dos mòduls de forma simultània per observar zones del cel adjacents.



A banda del seu ús principalment científic, la càmera també serà utilitzada pel sensor de front d'ona per tal de desplegar i calibrar els mirall del satèl·lit que està compost per 18 segments.

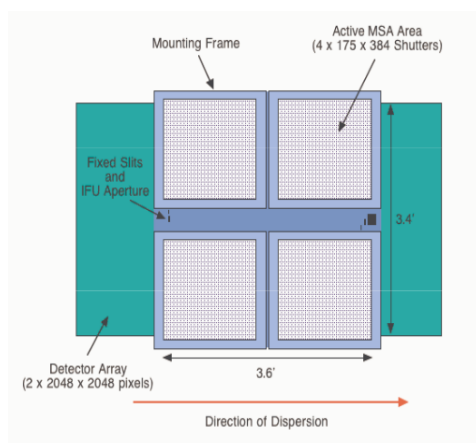
Aquest instrument està sent construït per un equip liderat per la Universitat d'Arizona, tenint com a principal investigador a Marcia Rieke. Per altra banda, el soci industrial és Lockheed-Martin's Advanced Technology Center ubicat a Palo Alto (California).

Els detectors d'infraroig seran aprovisionats per Teledyne Imaging Sensors (Rockwell Scientific Company). Aquests estan basats en SCAs (Sensor Chip Assemblies) de 2048×2048 amb $18 \mu\text{m} \times 18 \mu\text{m}$ HgCdTe fotodíodes.



7.2 NIRSpec Near IR Spectrograph

Amb NIRSpec es podrà realitzar espectrografia per longituds d'ona des del limit del visible (0.6 micròmetres) fins al infraroig proper (5 micròmetres). A més l'espectrografia serà multiobjecte (més de 100 simultàniament) gràcies a les ranures programables que disposa. Concretament es disposarà d'un vector de 62.000 micro-obturadors (tamany entre 100-200 micròmetres).



Aquest instrument està sent construït per l'agència europea de l'espai (ESA), concretament al European Space Research and Technology Centre (ESTEC) situat a Noordwijk al sur d'Holanda, i a on el responsable científic és Peter Jakobsen. A banda del Goddard Space Flight Center, al projecte també està implicat EADS Astrium, subsidiària del European Aeronautic Defence and Space Company (EADS).

L'instrument proporciona tres modes d'observació:

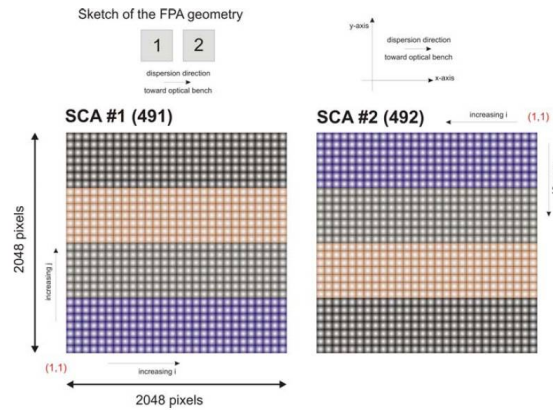
Mode	Objectiu	λ Rang	Màscara d'apertura	Resolució espectral
MSA Spectroscopy	Objectes rics o molt extens	0.6 - 5 μm	Qualsevol configuració de 0.2" x 0.46" micro-shutters	R~100, 1000, 2700
Fixed Slit Spectroscopy	Objectes simples i compactes	0.6 - 5 μm	0.1" x 1.9" o 0.2" x 3.3" o 0.4" x 3.8" FS	R~100, 1000, 2700
Integral-field Spectroscopy	Objectes moderadament extensos	0.6 - 5 μm	3.0" x 3.0" IFU	R~100, 1000, 2700

NIRCSpec disposarà de mecanismes anomenats Filter Wheel Assembly i Grating Wheel Assembly, basats en l'exitós mecanisme de rodes ISOPHOT del Infrared Space Observatory (ISO), pel canvi de filtres i elements òptics (mirall, prisma i 6 reixetes reflectants).

Els mecanismes i els elements òptics estan sent dissenyats, integrats i provats per Carl Zeiss Optronics GmbH de Oberkochen, Germany, sota un contracte amb Astrium.

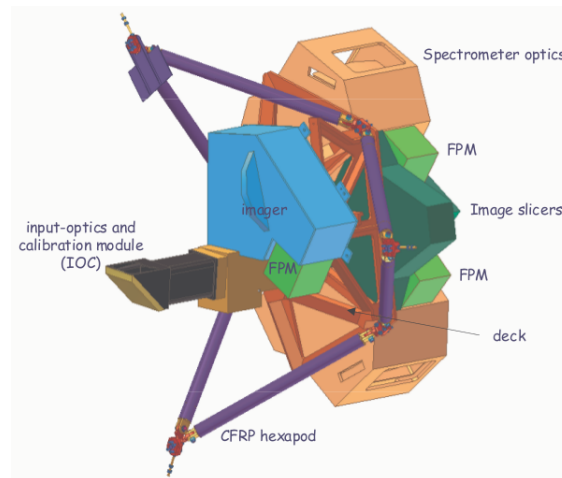
Els detectors d'infraroig seran aprovisionats per Teledyne Imaging Sensors (Rockwell Scientific Company). Aquests estan basats en dos sensors HAWAII-2RG (SCAs, sensor chip arrays) de 2048x2048 amb les següents característiques:

Paràmetres	Valors
Tamany del píxel	18 μm x 18 μm
Rang λ	0.6 μm - 5 μm
Eficiència quàntica 0.6 μm - 1.0 μm	> 70%
Eficiència quàntica 1.0 μm - 5.0 μm	> 80%
Soroll total	< $6e^-$ (a MULTIACCUM 22x4)
Dark current	0.01 $e^-/\text{s}/\text{píxel}$
Capacitat	60,000 e^-
Temperatura d'operació	30 - 40 k



7.3 MIRI Mid IR Instrument

Aquest instrument disposa tant d'una camera com d'un espectròmetre que permet observar a longitud d'ones des de 5 fins a 28.5 micròmetres (rang mig de l'infraroig). Per poder treballar requereix estar a temperatures inferiors als 7K i per tant, la refrigeració passiva del JWST no és suficient i incorporarà un refrigerador propi.



MIRI esta sent desenvolupat en una col·laboració entre el Jet Propulsion Laboratory (NASA), la ESA, i un consorci d'institucions europees amb el lideratge de George Rieke (Universitat d'Arizona) i Gillian Wright (UK Astronomy Technology Centre, Edinburgh, part del Science and Technology Facilities Council, STFC).

L'instrument disposa de mecanismes de roda (*wheel*) similars al NIRSpec, els quals també s'estan desenvolupant i construint per Carl Zeiss Optronics GmbH, sota un contracte amb el Max Planck Institute for Astronomy (Heidelberg).

7.4 Tunable-filter imager

El TFI és una càmera d'ús general que permet prendre imatges d'un tamany de $2.2' \times 2.2'$ (Resolució ~ 100) per longituds d'ona entre $1.5 - 2.5 \mu\text{m}$ i $3.2 - 5 \mu\text{m}$ (infraroig proper).

Cal destacar que, tot i que es troba físicament integrat amb el Fine Guidance Sensor, el TFI és completament independent i el seu ús és científic (no té cap paper a les funcions de guiatge).

L'objectiu principal de TFI és complementar altres instruments científics mitjançant la presa d'imatges amb la qualitat de NIRCам però amb filtres de resolució i sensibilitat comparable al mode de baixa resolució de NIRSpec. Addicionalment, TFI pot ser utilitzat per la presa d'imatges utilitzant 4 diferents coronògrafs per tal de bloquejar la llum directa d'una estrella i poder resoldre objectes propers en el camp de visió.

Com a detector disposa d'un vector de 2048×2048 píxels de HgCdTe amb un tamany de $18 \mu\text{m}$ produït per Teledyne Imaging Sensors (Rockwell Scientific Company).

El desenvolupament de l'instrument es a càrrec de la Canadian Space Agency (amb ComDev com a contractista principal) sota la responsabilitat científica de René Doyon (Université de Montréal).

8 Hardware de suport

8.1 ISIM - Integrated Science Instrument Module

El mòdul ISIM proporciona l'estructura, l'electrònica de control i tractament de dades pels instruments científics presentats a la secció 7 a la pàgina 12, així com els sensors de guiatge (FGS). Altres subsistemes compartits:

- Estructura
- Control de llum externa
- Control tèrmic
- Hardware i software pel tractament de dades i el comandament
- Focal Plane Arrays (FPA) i electrònica



L'ISIM disposa d'una arquitectura distribuïda en dos zones:

- Zona freda: integrat amb el telescopi òptic, es refreda de forma passiva per treballar al voltant del 30 K. Aquesta secció acull els instruments i els sensors de guiatge.
- Zona calent: localitzada a la nau (spacecraft) amb una temperatura d'uns 250 K a on s'ubica la major part de l'electrònica, evitant així calentaments innecessaris a la zona freda.

El mòdul ISIM esta sent desenvolupat al Goddard Space Flight Center de la NASA.

8.2 FGS Fine Guidance Sensor

El FGS s'utilitzarà per estabilitzar i controlar la orientació del satèl·lit (ACS, Attitude Control System) durant les observacions científiques programades. La camera del FGS pot prendre imatges de dos camps de visió adjacents d'un tamany de $2.4' \times 2.4'$ i, addicionalment, pot ser configurada per a que llegeixi un subvector de 8×8 píxels a una freqüència de 16 vegades per segon.

Entre les seves funcions es troben:


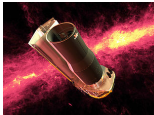
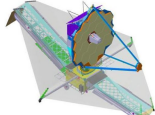
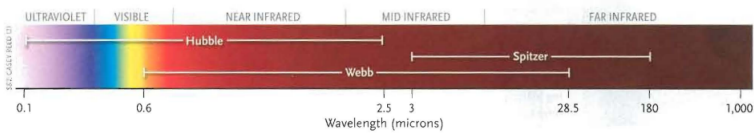
- Obtenció d'imatges guia per tal d'apuntar a un objectiu desitjat
- Captura i detecció d'estrelles guies prèviament seleccionades
- Suport al desplegament dels segments del mirall primari mitjançant l'avaluació d'errors d'apuntat

Al igual que Hubble, JWST utilitzarà el catalog Guide Star Catalog 2, complementat amb 2MASS, per les estrelles guies. Aquest catàleg tindrà una exactitud d'aproximadament 0.1 arcsec. No obstant, les observacions científiques que requereixin més precisió (p.ex. ~ 0.01 arcsec per l'ús del multi-shutter array del NIRSpec) tenen a la seva disposició una tècnica alternativa de calibratge mitjançant la observació d'una regió de LMC (Large Magellanic Cloud):

Els sistemes WFC (wavefront control) i ACS (Attitude Control System) es troben calibrats amb una precisió de 0.002 arcsec en distorsió, escala, tort i enrotllat (per aquesta tasca s'ha utilitzat el clúster globular 47 Tuc i el clúster obert M35). JWST podrà utilitzar un camp determinat de LMC que ja va ser mesurat prèviament per Hubble amb unes precisions astromètriques similars.

El desenvolupament de l'instrument es a càrrec de la Canadian Space Agency (amb ComDev com a contractista principal) sota la responsabilitat científica de John Hutching (Herzberg Institute of Astrophysics, National Research Council of Canada).

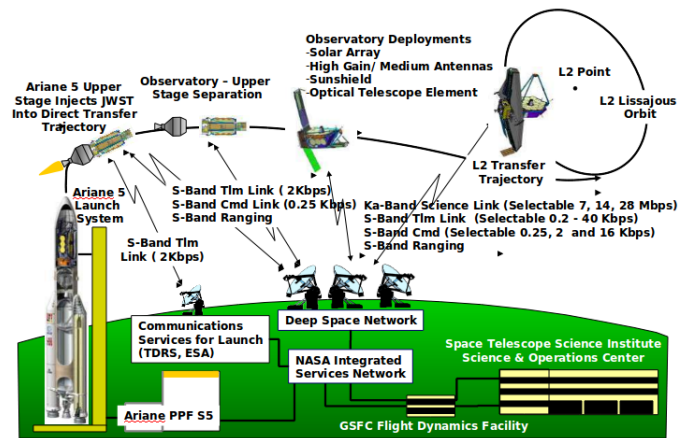
9 JWST en comparació

	Hubble	Spitzer	JWST
			
Òrbita	Òrbita terrestre baixa	Heliocèntrica	Lissajous a L_2
Diàmetre mirall	2.4 m	0.85 m	6.5 m
Longitud focal	57.6 metres	10.2 metres	131.4 metres
Longituds d'ona	0.1 - 2.5 μm	3 - 180 μm	0.6 - 28.5 μm
			
Longitud nau	13.3 metres	4 metres	22 metres
Massa	110.000 kg	865 kg	6.530 kg
Temperatura del mirall	300 K	5.5 K	35 - 55 K
Data de llançament	1990	2003	2014 (planificat)
Llançador	Space Shuttle Discovery	Delta II	Ariane V
Nombre d'instruments	5 * 12 durant el seu temps de vida	3 * 1 operatiu actualment	4

10 Comunicacions

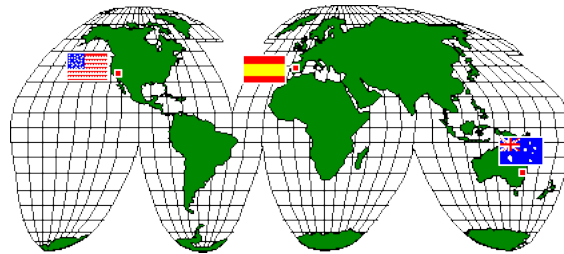
Les comunicacions entre el JWST i el segment terra es realitzarà mitjançant dos enllaços de radiofreqüència operant a les bandes Ka i S respectivament. El satèl·lit disposa de les següents antenes:

- Una antena direccional d'alt guany (HGA) que pot ser utilitzat per a la banda Ka i les comunicacions en banda S.
- Dos antenes omnidireccionals de baix guany (LGA) que seran utilitzades només per la banda S.



Cal destacar que l'enllaç de banda Ka és unidireccional (utilitzada només per a la descàrrega de dades científiques) i l'enllaç de banda S és bidireccional.

Donat que el satèl·lit es trobarà constantment al mateix punt de l'espai (L2), les comunicacions seran factibles les 24 hores utilitzant la Deep Space Network de la NASA:



Els complexos de la xarxa es troben ubicats a terrenys semi-muntanyosos que permeten tenir un escud natural contra interferències de radio:

- Austràlia, 40 km al sud-est de Canberra (aprop de la reserva natural de Tidbinbilla).
- Espanya, 60 km a l'est de Madrid a Robledo de Chavela.
- Estats Units, complex Goldstone a 72 km al nord-est de Barstow.

11 Operació

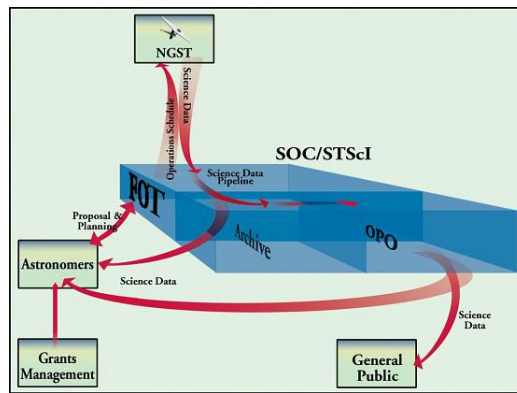
11.1 Digitalització i tractament inicial de les dades

La conversió de les dades analògiques a digital es porta a terme mitjançant un circuit integrat dissenyat a mida anomenat SIDECAR ASIC (System for Image Digitization, Enhancement, Control And Retrieval Application Specific Integrated Circuit). El circuit consumeix només 11 miliwatts i aporta molt poca calor, aspecte molt rellevant donat que s'haurà d'ubicar aprop dels detectors que requereixen una temperatura de treball molt baixa.

Un cop les dades es troben en format digital, la major part del processat que s'hagi de realitzar al mateix satèl·lit es portarà a terme per una placa d'ordinador convencional.

11.2 Centre d'operacions

El centre científic i d'operacions del JWST serà el Space Telescope Science Institute (STScI) ubicat a Baltimore (Maryland). L'STScI serà el responsable de la operació científica del telescopi (S&OC: Science and Operations Center) així com la distribució de les dades cap a la comunitat científica.



El procés general per a la operació del JWST per tal de fer ciència consta dels següents punts:

1. Els astrònoms realitzen propostes i plans d'observacions que són valorats per un sistema de peer-review.
2. Un cop seleccionada una proposta, es converteix a la forma adient per tal de ser utilitzat per l'equip d'operacions de vol (FOT, Flight Operations Team).
3. Tenint en compte la màxima seguretat i eficiència, les observacions són planificades, pujades al JWST i executades sota una exhaustiva monitorització per finalment descarregar els resultats.
4. Les dades científiques i de calibratge són facilitades als astrònoms per a que puguin realitzar els respectius estudis científics. Addicionalment, es disposa de la Office of Public Outreach (OPO) per tal d'informar al públic en general.

12 Gestió del projecte

12.1 Cost

Degut a un increment en els costos estimats, a l'agost del 2005 es va realitzar una replanificació de la missió que va afectar principalment als plans d'integració i prova del satèl·lit. En aquell moment es va estimar que el cost arribaria als 4.500 milions de dòlars, a on 1.000 milions correspon a l'operació del satèl·lit durant 10 anys un cop posat en òrbita.

A inicis del 2010 el cost del satèl·lit s'estimava en 5.000 milions, però al novembre el director general de la NASA reconeixia que seran necessaris entre 800 i 1.000 milions més per poder completar la missió. Sense cap mena de dubte, JWST és la missió científica més cara de la NASA fins al moment.

12.2 Planificació

Aspectes claus dels darrers 3 anys:

- Gener 2007: Es considera que 9 de les 10 tecnologies clau es troben preparades per complir amb els seus objectius sota les condicions de llançament i vol¹⁴:
 - Near Infrared Detectors (HgCdTe)
 - SIDECAR ASIC (the cryogenic controllers and signal processors for the detectors)
 - Mid-infrared detectors (Si:As)

¹⁴

– JWST Passes TNAR http://www.stsci.edu/jwst/project_highlights/tnar.html

- Near Infrared Spectrograph (NIRSpec) Microshutters
 - Cryogenic heat switch
 - Sunshield membrane and coatings
 - Wavelength sensing and control mechanisms and software
 - Primary mirror Be segments and mounts
 - Stable cryogenic backplane structure
- Abril 2007: La darrera tecnologia clau pendent, MIRI cryocooler, arriba a assolir el grau de qualitat necessari per a la missió. S'inicia la fase C del projecte: disseny final i fabricació
 - Març 2008: Es completa amb èxit el Preliminary Design Review (PDR)
 - Març 2009: Integrated Science Instrument Module review
 - Octubre 2009: Optical Telescope Element review
 - Gener 2010: Sunshield review
 - Abril 2010: Mission Critical Design Review (MCDR) a on es confirma que el satèl·lit complirà amb tots els requeriments científics i d'enginyeria establerts.
 - Novembre 2010: El director general de la NASA reconeix que s'haurà d'ampliar el pressupost de 5.000 a 6.000 milions de dòlars per poder completar la missió. Resta pendent la replanificació del llançament que probablement sigui al 2017 en comptes del 2014.

Referències

- [1] Jonathan P. Gardner, John C. Mather, Mark Clampin, Rene Doyon, Matthew A. Greenhouse, Heidi B. Hammel, John B. Hutchings, Peter Jakobsen, Simon J. Lilly and Knox S. Long. *The James Webb Space Telescope*. Obtingut a Decembre 2, 2010 des de la World Wide Web: <http://www.springerlink.com/content/h2374012xk30qpw5/>
- [2] Marcia J. Rieke, Douglas Kelly, and Scott Horner (2005). *Overview of James Webb Space Telescope and NIRCам's Role*. Obtingut a Decembre 2, 2010 des de la World Wide Web: http://ircamera.as.arizona.edu/nircam/materials/SPIE_Aug_05.html
- [3] Larry G. Burriesci (2005). *NIRCам Instrument Overview*. Obtingut a Decembre 2, 2010 des de la World Wide Web: http://ircamera.as.arizona.edu/nircam/materials/SPIE_Aug_05.html
- [4] Space Telescope Science Institute. *James Webb Space Telescope*. Diversos documents obtingut a Gener 16, 2011 des de la World Wide Web: <http://www.stsci.edu/jwst/>
- [5] NASA. *James Webb Space Telescope*. Diversos documents obtingut a Decembre 5, 2010 des de la World Wide Web: <http://www.jwst.nasa.gov/>
- [6] El País (2010). *El sustituto del 'Hubble' costará mil millones de dólares más de lo previsto*. Obtingut a Decembre 2, 2010 des de la World Wide Web: <http://www.elpais.com/articulo/sociedad/sustituto/Hubble/costara/mil/millones/dolares/previsto/elpepusoc/20101111elp>
- [7] Space News (2010). *10-Year Plan for Astrophysics Takes JWST Cost into Account*. Obtingut a Decembre 2, 2010 des de la World Wide Web: <http://www.spacenews.com/civil/100820-plan-astrophysics-jwst-account.html>
- [8] H. B. Hammel, G. Rieke, and the James Webb Space Telescope Science Working Group (2010). *Scientific Role of the James Webb Space Telescope*. New Worlds, New Horizons.

- [9] Sabelhaus, P. (2010). *Project Status for the AAS Town Hall*. American Astronomical Society.
- [10] Wikipedia. *Metric expansion of space*. Obtingut a Decembre 7, 2010 des de la World Wide Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Metric_expansion_of_space
- [11] Wikipedia. *Guiana Space Centre*. Obtingut a Decembre 18, 2010 des de la World Wide Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Guiana_Space_Centre
- [12] Wikipedia. *Ariane 5*. Obtingut a Decembre 18, 2010 des de la World Wide Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Ariane_5
- [13] Wikipedia. *Lissajous orbit*. Obtingut a Gener 3, 2011 des de la World Wide Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Lissajous_orbit
- [14] Wikipedia. *Lagrange point*. Obtingut a Gener 3, 2011 des de la World Wide Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Lagrangian_point
- [15] NASA. Deep Space Network. Obtingut a Gener 16, 2011 des de la World Wide Web: <http://deepspace.jpl.nasa.gov/dsn/>