

# El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?



Treball de recerca  
**BERTA LLURADÓ MOYANO**  
Tutora: Núria Méndez Civit  
Curs 2020-21  
Institut Gaudí. Reus  
2n. Bat-B



## Agraïments

Primer de tot, m'agradaria agrair especialment a la meva tutora del Treball de Recerca, Núria Méndez, ja que ha estat molt amable i molt pràctica de resoldre'm dubtes i, a l'hora d'avaluar les idees que em podien anar sorgint.

Especialment, m'encantaria donar les mil gràcies a la meva professora de dansa, la Lourdes Gómez per ajudar-me en tot el treball fet sobre la dansa i poder arribar a la conclusió del meu treball.

Seguidament m'agradaria donar les gràcies a l'Escola de Dansa del Centre de Lectura de Reus per poder realitzar la meva part pràctica en les seves instal·lacions.

A les meves companyes, per ajudar-me a gravar tots els vídeos que componen la part pràctica del treball; i a les dues persones entrevistades, la Lourdes Gómez, ballarina professional i professora de dansa del Centre de Lectura de Reus, i l'expert en física, en Lluís García, professor de Física i Química a l'Institut Gaudí, per poder corroborar les seves respostes amb la meva hipòtesi; sense elles i ells no hagués pogut dur a terme aquest projecte.

A la meva família, pel temps, l'ajuda, l'interès i el recolzament.

A tots vosaltres, gràcies.



## SUMARI

INTRODUCCIÓ.....	7
1. LA MECÀNICA CLÀSSICA NEWTONIANA.....	11
1.1. Cinemàtica .....	12
1.2. Estàtica.....	13
1.3. Dinàmica .....	18
1.3.1. Història .....	18
1.3.2. Fonaments teòrics de les lleis .....	19
1.3.3. Primera llei de Newton o llei d'inèrcia .....	20
1.3.4. Segona llei o principi fonamental de la dinàmica .....	28
1.3.5. Tercera llei o principi d'acció i reacció .....	33
2. LA DANSA.....	37
2.1. Breu evolució històrica de la dansa .....	37
2.2. Fonaments teòrics de la dansa .....	40
3. LA FÍSICA APLICADA A LA DANSA .....	43
3.1. Grand jeté .....	43
3.1.1. Execució.....	44
3.1.2. Fases .....	47
4. PART PRÀCTICA .....	57
4.1. Comparativa salt juliol vs novembre .....	57
4.1.1. Vídeo resum dels salts .....	57
4.1.2. Fase de preparació .....	58
4.1.3. Fase d'enlairament .....	60
4.1.4. Fase de vol .....	61
4.1.5. Fase d'aterratge.....	63
4.2. Què en pensen els experts?.....	64
4.2.1. Entrevista a Lourdes Gómez. Ballarina professional. ....	64
4.2.2. Entrevista a Lluís García. Professor de Física i Química. ....	66
4.2.3. Interpretació de les dades .....	67
5. CONCLUSIONS .....	69

---

6. GLOSSARIS .....	71
6.1. Glossari de física .....	71
6.2. Glossari de dansa clàssica .....	73
BIBLIOGRAFIA / WEBGRAFIA.....	75
ANNEXOS.....	77
Annex.1. ENTREVISTA 1. Realitzada a l'experta en dansa.....	77
Annex 2. ENTREVISTA 2. Realitzada a l'expert en física .....	78
Annex 3. Comentari comparatiu de l'evolució del grand jeté a càrrec de la professora de dansa Lourdes Gómez (Adjunto l'escrit tal com me'l va lliurar). .....	79
Annex 4. Comentari comparatiu de l'evolució del grand jeté a càrrec del professor de física Lluís García.....	81

## INTRODUCCIÓ

Des que tinc 3 anys que estic relacionada amb el món de la dansa. Recordo perfectament el primer dia que vaig assistir a una classe, i fins ara, amb 17 anys, encara gaudeixo d'aquest art cada dia. Sempre m'he sentit atreta per totes les ballarines i tots els ballarins quan interpreten una obra, tant clàssica com contemporània. Però, quan veus com aquestes artistes duen a terme 32 fouettés (com el cas d'Odile en El Llac dels cignes) o fan un grand jeté espectacular, en qualsevol d'aquestes obres clàssiques, és quan tens ganes d'endinsarte en aquest món perquè aquesta meravella de moviment et captiva i et transporta a una altra dimensió. En entrar en aquest món, vaig aprendre que no tot és tan senzill com es veu des del públic. Aquella dolça ballarina, que jo veia al teatre, treballava molt per semblar lleugera i fer-ho fàcil. Arran d'això i de totes les experiències que he viscut jo, com a integrant d'aquest món, sempre he volgut arribar a fer, com a mínim, 8 fouettés o un grand jeté. Tots sabem que és qüestió de pràctica diària durant moltíssimes hores, però també hi juga un paper molt important la física; i entenent conceptes d'aquest àmbit pensem que ens pot ajudar a realitzar aquests passos que somnies des que ets petita.

Aquesta ha estat la motivació principal de la meva elecció de tema en el treball de recerca. Jo sabia que la meva investigació no podia estar lluny del ballet, la meva passió més sincera, aquella que per molts disgustos que m'hagi portat mai no deixaré d'estimar. Vaig creure que era l'oportunitat perfecta per demostrar com el món de la dansa està relacionat amb el món de la física, i especialment, amb Isaac Newton. Ben certa és la frase que, popularment, sentim: "No hi ha art sense ciència". Ens podem preguntar: Quina relació hi ha entre ciència i art, en el cas que ens ocupa ara, la dansa entesa com a art complet i sense límits?

La dansa consta de moltes diferents tècniques, moviments i estils; però tots parteixen de les mateixes bases i comparteixen passos similars. La dansa és un art on s'utilitza el moviment del cos per expressar, comunicar i sentir; una forma on el ballarí o la ballarina interpreta cada moviment amb el seu cos o la seva mirada.

La característica de la física, com la ciència més fonamental, es deu a que estudia les propietats bàsiques i generals de la matèria com són el moviment i les forces que actuen entre els cossos, així com també la seva estructura. La física ens ajuda, també, a entendre què passa mentre ballem, com es produeixen els moviments i quines forces les provoquen,

quins factors alteren l'equilibri i com es restableixen.

Una classe de dansa aborda conceptes com el de mantenir l'equilibri, el control de la velocitat de gir, la realització de piruetes, el control de l'altura del salt, l'ús dels braços en els diferents exercicis i moviments, entre molts d'altres. Quan la ciència es posa a estudiar la dansa, en realitat el que està fent és estudiar com un ballarí o ballarina és capaç d'unir-se a la naturalesa per a crear moviments únics. De fet, tot ballarí aplica la ciència de manera intuïtiva, només que si aquest tipus d'operacions es realitzessin de manera racionalitzada, els resultats potser arribarien a ser millors. Ni que aquesta connexió entre vida quotidiana i ciència sembli invisibilitzada, tot està connectat. Un cop entenem això, potser mostrarem millor el que volem produir artísticament.

Tanmateix, d'acord amb el suport de la meva tutora del centre, la Núria, he decidit realitzar aquest treball, en primer lloc realitzant un estudi dels aspectes de la física que poden estar relacionats amb la dansa i, seguidament fer la necessària recerca i la consegüent recopilació de dades i informació prèvies sobre el món de la dansa clàssica. Aquesta seria la part teòrica del treball. Un cop finalitzada aquesta cerca, passo a la part pràctica, intentant casar la dansa i la física, fent jo mateixa de model, per demostrar que la física i la dansa estan estretament relacionades, i que aplicant els conceptes de la física pots millorar la tècnica del clàssic. Aquest treball fou dut a terme durant els mesos de juliol a novembre, amb l'ajut inestimable de la professora de repertori de l'Escola de Dansa del Centre de Lectura de Reus, Lourdes Gómez. També s'han recollit dues entrevistes dirigides a experts en els dos camps estudiats, la dansa i la física, en Lluís García, professor de Física i Química a l'Institut Gaudí de Reus, i la Lourdes Gómez, professora de dansa ja citada anteriorment, per esbrinar la seva opinió i què hi ha de cert darrere d'aquests objectius. El disseny de cada entrevista consta de dues parts: la primera es basa en un seguit de preguntes que reflecteixen la situació actual de l'entrevistat i l'entrevistada dins el món de la dansa/física com també la connexió que hi té. La segona proposa un conjunt de preguntes relacionades amb el coneixement de la física i la seva relació amb la dansa. Les respostes de l'entrevista han quedat recopilades en l'apartat 4.2 del treball, la part pràctica. En els annexos adjunto la comparació que, ells mateixos, han fet de la progressió del meu grand jeté des del juliol al novembre.

Així doncs, els objectius del treball són:

- Objectiu 1:
  - Demostrar la relació entre física i dansa
- Objectiu 2:
  - Aplicar els principis bàsics de la física en el:
    - Grand jeté
- Objectiu 3:
  - Demostrar la millora dels moviments gràcies a la física.

Conseqüentment, la hipòtesi d'aquest treball és:

- Potser amb l'aplicació dels principis bàsics de la física milloraré la tècnica del Grand jeté.

Les fonts consultades han estat de dos tipus. D'una banda fonts bibliogràfiques (llibres sobre aquestes matèries) i webgràfiques (amb informació específica tant en textos com en imatges), d'on he obtingut informació sobre els conceptes de la física i la història i l'evolució de la dansa. D'altra banda, he fet treball de camp fent vídeos mentre estava aplicant la tècnica dels diferents moviments de ballet aplicant els conceptes físics i, tal com ja he esmentat anteriorment, realitzant entrevistes a persones expertes que tenen relació amb la dansa i amb la física.

El mètode de treball ha consistit en l'elaboració d'un esquema previ, en la cerca d'informació en fonts de diferents tipus seguint aquest esquema, en el buidatge i classificació de les dades obtingudes i, per confirmar-ne la validesa, he procurat contrastar-la consultant diverses fonts i duent a terme els meus visionats per seguir el procés de la millora de la tècnica. Finalment, he elaborat diversos esborranys del treball, que ha revisat la tutora, fins arribar al redactat final.

La dificultat principal que m'he trobat ha estat que no es tenen prou hores per poder arribar a aconseguir el resultat final d'un grand jeté o qualsevol altra pirouette, realitzat de manera correcta. Malgrat tot, sí que es veu una millora del principi de l'estudi fins a dia d'avui.

Cal fer una última observació de forma del treball. Per ser políticament correcta, m'hauria de dirigir sempre parlant dels dos gèneres; però, per fer més fàcil la lectura, ho concreto dirigint-me sempre a "la ballarina" com a sexe femení, aclarint que quan parlo d'ella s'ha de donar per entès que em refereixo als dos gèneres.

## 1. LA MECÀNICA CLÀSSICA NEWTONIANA

Per estudiar el moviment els científics han buscat teories i principis anomenant-los mecànica. Un d'ells, n'Isaac Newton, en va fer contribucions fonamentals.

La mecànica newtoniana, basada en les lleis d'aquest gran científic, és un model físic per descriure el moviment dels cossos en l'espai relacionant aquest moviment amb les forces, que són les seves causes. Històricament, la mecànica newtoniana va ser el primer model dinàmic capaç de fer prediccions importants sobre el moviment dels cossos en gran quantitat de sistemes, com per exemple, descriure amb gran exactitud sistemes com coets, moviment de planetes, trens i trajectòries de mòbils en general, i pel que concerneix a aquest treball, els moviments de la dansa.

Aquesta ciència es va basar en els descobriments de Kepler, Galileu, Torricelli i altres físics, i van ser sintetitzats per Newton en la *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, obra publicada el 1687. Per això, a la mecànica clàssica també se l'anomena mecànica newtoniana.

Newton, sobre la base dels principis d'aquesta mecànica, va elaborar la llei de la gravitació universal i integrar per primera vegada el moviment dels cossos celestes. Els conceptes fonamentals sobre els quals es basa la mecànica newtoniana són els d'espai, temps, força i massa, de manera que altres conceptes com: velocitat, acceleració, acció, reacció, atracció, gravitació, etc, poden explicar-se a partir d'aquets conceptes fonamentals. D'altra banda, la idea bàsica que acompanya la mecànica newtoniana és la de considerar que tota explicació ha de ser quantitativa i sotmesa a experimentació.

Solen distingir-se tres grans parts en la mecànica newtoniana o clàssica:

- I) La cinemàtica, que estudia el moviment dels cossos sense considerar les forces que el causen.
- II) L'estàtica, que és l'estudi de l'equilibri i de les forces que actuen a l'interior d'un cos immòbil.
- III) La dinàmica, que estudia els moviments causats per les forces que actuen sobre els cossos.

Seguidament, faré una petita explicació de cada una exemplificant-ho amb moviments de diferents objectes per passar després a fer-ho amb exemples de ballet.

## 1.1. Cinemàtica

El moviment dels cossos és un dels primers fenòmens físics que ens desperta la curiositat.

Quan diem que un cos es mou a poc a poc o quan diem que un cos es mou ràpid?

Sabem que la cinemàtica és la branca de la mecànica que descriu el moviment dels objectes sòlids sense considerar les causes que l'originen (les forces i la massa) i es limita, principalment, a l'estudi de la trajectòria en funció del temps. Per a això, utilitza velocitats i acceleracions que descriuen com canvia la posició en funció del temps.

La velocitat es determina com el quocient entre el desplaçament i el temps utilitzat, mentre que l'acceleració és el quocient entre el canvi de velocitat i el temps emprat.

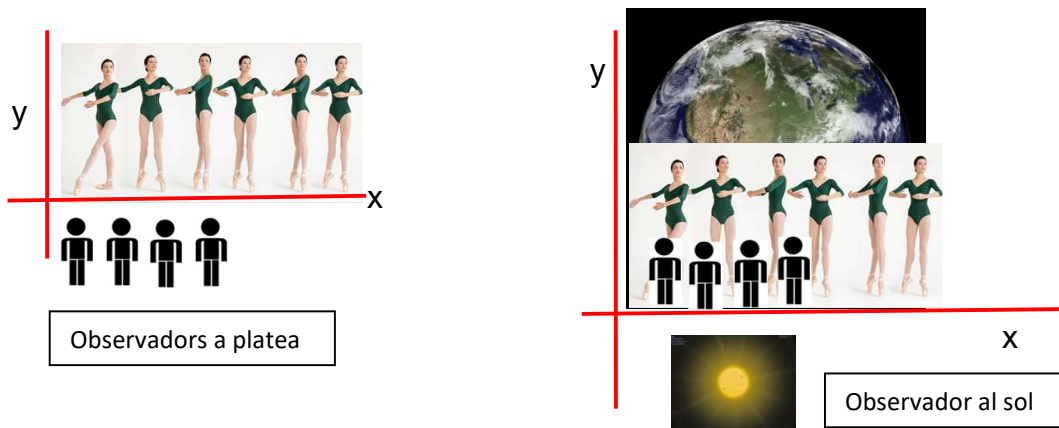
Per estudiar el moviment ens cal prendre una referència que sol ser algun objecte sense moviment aparent.



Podem analitzar el moviment de la ballarina de maneres diferents:

- Considerem la gent asseguda al plató del teatre mirant-la com a punt de referència. Abans de començar el Tour Chaines o Deboulés<sup>1</sup>, no hi ha moviment. I durant aquest pas la ballarina està en moviment respecte de la gent que és a platea.
- També podem considerar com a referència un punt qualsevol de la superfície de la Terra que, com ja sabem, gira al voltant del Sol. Respecte del Sol, tothom es mou, tant la ballarina com la gent que està asseguda a platea mirant el ball. En aquest exemple observem que el moviment és relatiu, depèn de l'observador i de la referència (eixos de coordenades) que utilitza. Per tant, en l'estudi del moviment hem d'escollir un sistema de referència.

<sup>1</sup> Els Tour Chaines o Deboulés són girs encadenats a través de l'escenari, que poden realitzar-se en diversos passos, diagonals o en maneges.



Veiem un exemple amb la dansa.

Considerem una ballarina fent els Tour Chaines o Deboulés. El moviment de la ballarina és rectilini ja que la trajectòria que segueix el seu cos és una línia recta. A la vegada, gira sobre si mateixa fent un moviment circular. Tarda un temps per anar d'un punta de l'escenari a l'altra, és a dir, la seva posició va variant amb el temps, desplaçant-se amb una velocitat i una acceleració.

<https://youtu.be/QOqLvCyZilk>

Vídeo 1. Tour Chaines o Deboulés

## 1.2. Estàtica

L'Estàtica és la part de la mecànica que estudia les forces en equilibri. El problema fonamental de l'Estàtica és cercar les condicions que han de complir les forces aplicades a un cos per a què quedi en equilibri. Si sobre un cos no actuen forces o actuen diverses forces, la resultant de les qual és zero, diem que el cos està en equilibri. Si un cos està en equilibri vol dir que està en repòs o es mou en línia recta amb velocitat constant. Per a un cos en equilibri la força neta és zero.

$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

La suma algebraica dels moments de les forces aplicades respecte a un eix ha d'ésser zero.

$$\sum \vec{M} = \vec{0}$$

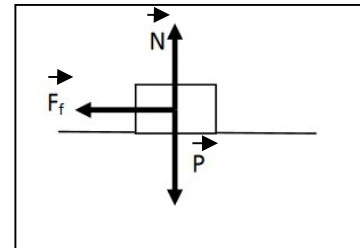
El moment d'una força és la magnitud que ens ajuda a comprendre l'eficàcia d'una força que produeix una rotació al voltant d'un eix.

La força resultant és zero i per a un punt qualsevol el moment resultant és zero.

El punt d'aplicació de la resultant de la força de la gravetat que la Terra exerceix sobre totes i cada una de les partícules que es troben constituïdes per un cos es diu centre de gravetat.

A l'estàtica no actuen o no es consideren les forces externes ni les acceleracions, però sí forces internes com el pes i la força de fregament. Així, un objecte pesant col·locat sobre una taula fa que aquesta rebi l'acció del pes i respongui amb una reacció (força igual i oposada), que mantindrà l'objecte a sobre (equilibri). Si el pes fos més gran del que la taula pogués aguantar, aquesta es deformaria o trencaria.

En equilibri, les forces externes aplicades a un cos es compensen, com també es compensen entre sí els moments (respecte dels eixos X,Y,Z) de les forces. Per tant, un cos en equilibri no realitza cap moviment, ni de translació ni de rotació, a no ser que estigui en MRU (Moviment Rectilini Uniforme).



$$\begin{array}{ccc} \sum_i \vec{F}_{xi} = \vec{0} & \sum_i \vec{F}_{yi} = \vec{0} & \sum_i \vec{F}_{zi} = \vec{0} \\ \sum_i \vec{M}_{xi} = \vec{0} & \sum_i \vec{M}_{yi} = \vec{0} & \sum_i \vec{M}_{zi} = \vec{0} \end{array}$$

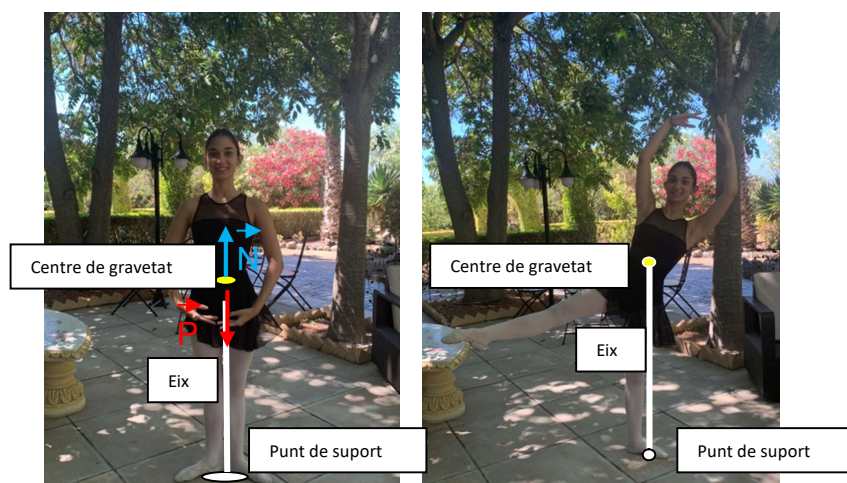
Així tenim que, una ballarina està en equilibri quan cap força (per exemple, la força de la gravetat) aconseguix canviar el seu moviment, perquè sempre hi ha una altra força que la contraresta. Quan estem de peu, hi ha forces que actuen sobre nosaltres: la gravetat, que ens empeny cap avall, i la força reactiva del terra, que ens empeny cap a dalt. Com que aquestes forces estan equilibrades, podem quedar-nos en la mateixa posició per molt de temps.

El centre de gravetat (centre de massa o centre)<sup>2</sup> d'una persona que balla és el punt en el qual la força de la gravetat sembla estar actuant sobre el cos com un tot. No és difícil trobar el nostre propi centre (de gravetat). Quan estem parades sobre els dos peus, podem imaginar un pla vertical que divideix el nostre cos a la meitat, en part esquerra i part dreta. El centre està sobre aquest pla, a prop del melic. Si aixequem els braços, aquest moviment de massa cap a dalt fa que el nostre centre també pugi un miqueta. Si aixequem una cama cap a un costat, el nostre centre també marxarà cap al costat i cap a dalt, i per a mantenir l'equilibri part de la massa de la resta del cos ha de desplaçar-se en la direcció oposada.

<sup>2</sup> El centre de gravetat i el centre de massa són equivalents sols mentre la gravetat no canvia, com succeeix sobre l'escenari.

# El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano



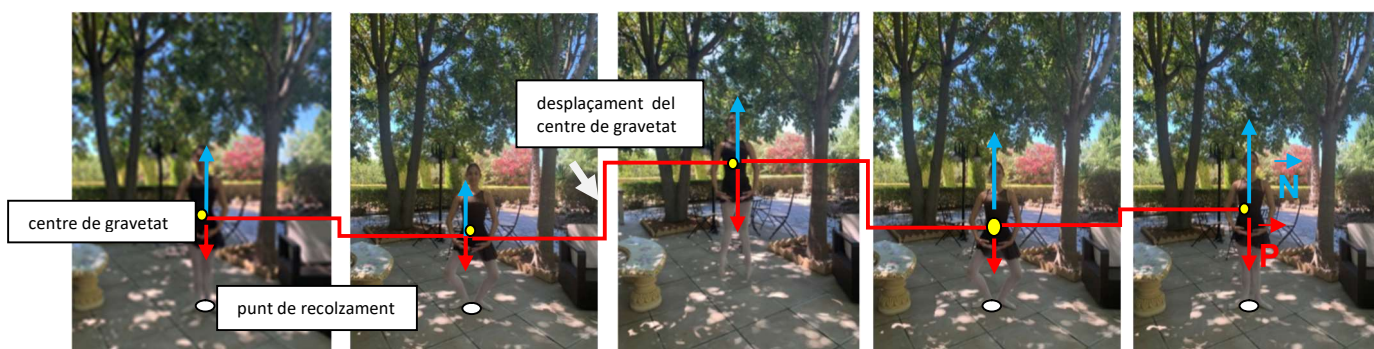
Força de la gravetat.  $F = m \cdot g$

<https://youtu.be/-awl5F9c4jk>

Vídeo 2. Salt a primera posició

**Figura 1.** Posició aproximada del centre de gravetat en dues postures. Al terra, l'àrea de suport sobre la qual passa l'eix quan estem en equilibri, està marcada en blanc. En les figures, el centre de gravetat està marcat amb un cercle groc, i l'eix, amb una línia vertical.

Per exemple, quan la ballarina fa un salt, actua la força de la gravetat. Detallem el salt pas a pas, marcant el centre de gravetat, el punt de recolzament i el desplaçament del centre de gravetat.



**Figura 2.** Detall del salt, marcant el centre de gravetat, el desplaçament del centre de gravetat i el punt de recolzament. També es marquen les forces acció-reacció.

## El centre de massa o de gravetat

Faig un treball més desgranat del centre de massa perquè serà un dels punts en el qual em detindré a l'hora de valorar el resultat de la part pràctica d'aquest treball de recerca.

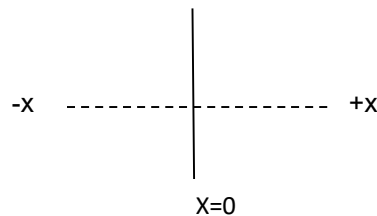
El concepte de centre de massa a la física clàssica ens permet analitzar com som capaços d'equilibrar-nos i predir el que succeirà quan estem desequilibrats. El centre de massa es necessita per a una comprensió quantificada de l'equilibri, i també, per calcular la força gravitatòria que s'obté sobre un objecte mitjançant la Llei de la Gravitació Universal de Newton. Els conceptes fonamentals de la interacció entre la dansa i la física, que inclouen les

condicions necessàries de l'equilibri d'una ballarina, depenen de la ubicació del centre de massa del cos.

Per tal de desenvolupar una fórmula general per a la ubicació del centre de massa hem de desenvolupar un sistema per modelar el cos humà. Però primer parlem d'un cas més senzill, en què un conjunt de masses estan disposades en línia. Col·locarem un eix X en aquesta línia de masses i designarem una direcció positiva i negativa. També hem d'establir un punt com a origen, on  $x = 0$ . Tindrem valors positius que s'estenen cap a la dreta i negatius cap a l'esquerra al llarg de la nostra línia. El centre de massa d'un grup de masses disposat en aquesta línia es pot calcular amb la següent fórmula:

$$X_{CM} = \frac{x_1m_1 + x_2m_2 + \dots + x_nm_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

on  $X_{CM}$  és la posició del centre de massa al llarg del nostre eix x. Els valors  $x_1, x_2,$  etc., corresponen a la ubicació de les masses  $m_1, m_2,$  etc. La fórmula per trobar la ubicació del centre de massa afegeix una sèrie de multiplicacions de la posició d'un objecte per la seva massa al numerador.



Això ens proporciona unitats de metres per quilograms, si fem servir el SI. La suma de les masses dels objectes és el denominador. Com que les unitats del denominador són quilograms, la resposta final es donarà en unitats de metres i els resultats especifiquen el centre de posició de massa al llarg de l'eix x. Si volem calcular el centre de massa d'un sistema que té masses en tres dimensions (que és necessari per a sistemes com les ballarines, que són en tres dimensions), podem repetir el càlcul dels altres dos eixos que formen el nostre sistema tridimensional:

$$Y_{CM} = \frac{y_1m_1 + y_2m_2 + \dots + y_nm_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$$Z_{CM} = \frac{z_1m_1 + z_2m_2 + \dots + z_nm_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

# El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano

És convenient que els càlculs de les diverses dimensions es puguin produir independentment els uns dels altres: si ens limitéssim a moure'ns al llarg d'un únic eix podríem canviar la ubicació del nostre centre de massa al llarg d'aquest eix sense canviar la ubicació del nostre centre de massa a altres dimensions, seria el cas del Grand Jeté<sup>3</sup>.

Com que el nostre cos és una massa que s'estén per l'espai, i no trossos de massa concentrats en punts puntuals de l'espai, podem fer el càlcul d'una ballarina d'una manera més senzilla: manipulant cada membre o secció del cos de forma independent. Si primer calculem el centre de massa de les diverses parts del nostre cos, podrem calcular el centre de massa de tot el nostre cos tractant cada part com si tota la massa d'aquesta part del cos estigués situada al seu propi centre de massa. Per tant, podríem tenir equacions que tinguin un aspecte semblant a aquesta:

$$X_{CM} = \frac{X_{CM\text{braç esquerre}} m_{\text{braç esquerre}} + X_{CM\text{cap}} m_{\text{cap}} + X_{CM\text{cos}} m_{\text{cos}} + \dots}{m_{\text{braç esquerre}} + m_{\text{cap}} + m_{\text{cos}} + \dots}$$

Podem concebre el nostre cos com un sistema de parts amb masses i ubicacions que es poden combinar en aquesta fórmula. Podríem utilitzar aquestes dades per calcular la ubicació del centre de massa d'una ballarina, amb una posició específica. Els càlculs són molt laboriosos, i només ens són útils durant el període mentre la ballarina fa el pas. No obstant, entendre com funcionen els càlculs ens pot donar una idea de com canvia el nostre centre de massa a mesura que ens movem.

En aquest apartat podríem explicar, també, com treballa el peu de la ballarina i les línies d'acció de les tres forces que aquest li fa, en el moment de fer el salt.

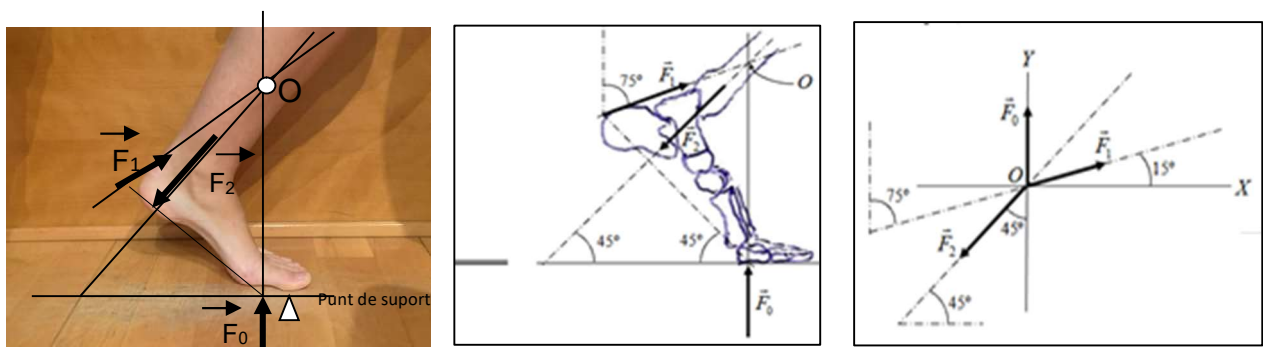


Figura 3. Forces que actuen sobre el peu de la ballarina.

<sup>3</sup> Grand Jeté. Gran salt amb una cama estesa endavant i l'altre enrere.

Quan una ballarina es posa de puntetes considerem que el pes del seu cos es reparteix per igual entre ambdós peus. El diagrama de les forces que actuen sobre el seu peu es presenta en la figura 3. El vector  $F_0$  és la reacció normal del terra sobre el peu,  $F_1$  és la tensió exercida pel tendó d'Aquil·les, i  $F_2$  és la força exercida pels ossos de la cama sobre el peu. Les línies d'acció de les tres forces conflueixen en el punt O.

Com que el pes del cos P es reparteix equitativament sobre ambdós peus, la reacció normal serà igual a la meitat del pes:

$$\vec{F}_0 = P/2 \text{ N}$$

L'equilibri estàtic és la suma de forces en qualsevol direcció, que seria igual a zero.

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_0 + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$$

### 1.3. Dinàmica

Aquest apartat és on centrarem el meu treball, perquè la dinàmica observa la relació que existeix entre el moviment i les causes dels seus canvis. Si es vol canviar la posició d'un cos en repòs és necessari empènyer o aixecar-lo, és a dir, exercir una acció sobre ell. Però, anem per parts. Comencem per la història.

#### 1.3.1. Història

El nom de dinàmica prové de la paraula grega *dínamis* que significa força. Precisament van ser els grecs els que varen iniciar el camí d'aquesta ciència.

Els antics pensadors grecs, com Aristòtil (384-322 aC) creien que la velocitat i la constància del moviment en la línia recta d'un cos (fenomen descrit anys més tard com a moviment rectilini uniforme o MRU) estaven proporcionalment relacionades amb una força constant i que, si aquesta desapareix, el cos s'acaba aturant. També es creia que la caiguda d'un cos pertanyia a aquesta categoria, pel que se suposava que cauria més ràpid el cos que més pesés. Després, Galileu Galilei (1564- 1642) estudiant la caiguda dels cossos i el seu descens en plans inclinats, va superar les idees d'Aristòtil sobre les forces i el moviment. Va entendre que la caiguda dels cossos no podia ser un moviment uniforme, i que des d'una mateixa altura, dos cossos de diferent pes triguen el mateix en caure. Aquest fet va ser el que va possibilitar que alguns anys després, Isaac Newton (1642-1727) establís les tres lleis fonamentals de la dinàmica, que explicaven les pautes fonamentals del comportament dels cossos.

## 1.3.2. Fonaments teòrics de les lleis

Tal com hem dit, el 1687, el científic anglès Isaac Newton va publicar una obra considerada la primera obra de la física "*Principios matemáticos de la filosofía natural*" coneguda com "*Principia*".

Newton, a la primera part del seu llibre, exposa les lleis que regeixen el moviment dels cossos conegudes com lleis de la dinàmica o lleis de Newton i que són la base de la mecànica clàssica en la que ens recolzem per estudiar el moviment en aquest treball.

- El primer concepte que utilitza és el de massa, que identifica amb «quantitat de matèria» posada en moviment (m).
- En segon lloc, Newton assumeix que la quantitat de moviment és el resultat del producte de la massa per la velocitat, i defineix dos tipus de forces (com a causa del moviment (F)):  **$F = m \cdot a$** 
  - la força de la inèrcia, que és proporcional a la massa i que reflecteix la inèrcia de la matèria, i
  - el moment de força, que és l'acció que canvia l'estat d'un cos, sigui quin sigui aquest estat.

El moment de força, a més de produir-se per xoc o pressió, pot ser deguda a la força centrípeta<sup>4</sup>, una força que porta al cos cap a algun punt determinat. A diferència de les altres causes, que són accions de contacte, la força centrípeta és una acció a distància. En aquesta, Newton distingeix tres tipus de quantitats de força:

- l'absoluta
  - l'acceleradora
  - la motora, que és la que intervé en la llei fonamental del moviment.
- En tercer lloc, precisa la importància de distingir entre l'absolut i el relatiu sempre que es parli de temps, espai, lloc o moviment.

En aquest sentit, Newton, que entén el moviment com una translació d'un cos d'un lloc a un altre, per arribar al moviment absolut i veritable d'un cos compon el moviment (relatiu) d'aquest cos en el lloc (relatiu) en què el considera, amb el moviment (relatiu) del lloc mateix en un altre lloc en el qual estigui situat, i així successivament, pas a pas, fins arribar a un lloc

---

<sup>4</sup> Força causant de l'acceleració normal que presenta una massa en descriure una trajectòria curvilínia.

immòbil, és a dir, al sistema de referència dels moviments absoluts. D'acord amb això, Newton estableix que els moviments aparents són les diferències dels moviments veritables i que les forces són causes i efectes d'aquests. Conseqüentment, la força en Newton té un caràcter absolut, no relatiu.

Les lleis enunciades per Newton, i considerades com les més importants de la mecànica clàssica, són tres:

- 1a. La llei d'inèrcia, segons la qual tot cos es manté en l'estat de repòs o de moviment rectilini uniforme en què es trobi, tret que una força l'obligui a canviar d'estat.
- 2a. La relació entre força i acceleració. El principi  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  (igualtat de la força al producte de la massa per l'acceleració), afirma que els canvis que ocorren en la quantitat de moviment són proporcionals per força motriu i es desenvolupen en la direcció d'aquesta força.
- 3a. La llei de la igualtat entre acció i reacció en les accions mútues entre dos cossos.

Newton va plantejar que tots els moviments s'atenen a aquestes tres lleis principals, formulades en termes matemàtics.

### 1.3.3. Primera llei de Newton o llei d'inèrcia

La primera llei del moviment rebut la idea aristotèlica que un cos només pot mantenir-se en moviment si se li aplica una força. Newton exposa que tant el repòs ( $v=0$ ) com el moviment rectilini uniforme ( $v=\text{constant}$  en mòdul i en direcció) són estats equivalents des del punt de vista de la dinàmica i, ens indica que per mantenir un objecte amb velocitat constant en mòdul i direcció no cal aplicar cap força.

És a dir que, un cos no pot canviar per si mateix el seu estat inicial, ja sigui en repòs o en moviment rectilini uniforme, sinó s'aplica una força o una sèrie de forces la resultant de les quals no sigui nul·la sobre el cos. Newton té en compte, així, el fet de què els cossos en moviment estan sotmesos constantment a forces de fricció<sup>5</sup>, que els frenen de forma progressiva.

---

<sup>5</sup> La força d'interacció entre dues superfícies (sabatilles i el terra per exemple), es deguda a les irregularitats i imperfeccions de les superfícies i per tant depèn de les característiques de les superfícies de contacte. Aquesta força s'anomena força de fricció o fregament i apareix entre dues superfícies que llisquen o intenten lliscar entre elles.

En conseqüència, un objecte en moviment no s'atura de manera natural si no s'aplica una força sobre ell. En el cas dels cossos en repòs, s'entén que la seva velocitat és zero, de manera que si aquesta canvia és perquè sobre aquest cos s'ha exercit una força neta.

## 1a. Llei de Newton

Quan la resultant de les forces que actuen sobre un cos és zero, aquest roman en repòs (si està parat) o conserva la seva velocitat (si es troba en moviment), de manera que el cos descriu un MRU:

$$\sum \vec{F}_r = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \mathbf{0} \iff \vec{v} = \text{constant (MRU)}$$

$$\sum \vec{F} = \mathbf{0} \iff \frac{d\vec{v}}{dt} = \mathbf{0}$$

Aquesta expressió és una equació vectorial, ja que les forces tenen direcció i sentit. D'altra banda, cal destacar que la variació amb la qual varia la velocitat en funció del temps correspon a l'acceleració.

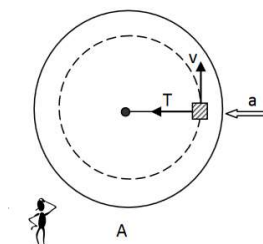
### 1.3.3.1. Sistemes de referència inercials

La primera llei de Newton serveix per definir un tipus especial de sistemes de referència coneguts com a sistemes de referència inercials, que són aquells des dels quals s'observa que un cos sobre el qual no actua cap força neta, es mou amb velocitat constant.

Per exemple, considerem una plataforma girant amb velocitat constant,  $\omega$ , en la qual un objecte està lligat a l'eix de gir mitjançant una corda, i suposem dos observadors, un inercial extern a la plataforma i un altre no inercial situat sobre ella.

- Observador inercial: des del seu punt de vista el bloc es mou en cercle amb velocitat  $v$  i està accelerat cap al centre de la plataforma amb una acceleració centrípeta

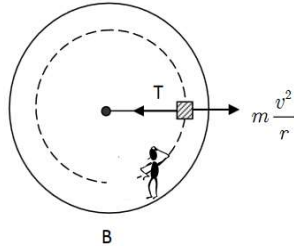
$$\mathbf{a}_n = \frac{v^2}{r} \cdot \vec{n}$$



Aquesta acceleració és conseqüència de la força exercida per la tensió de la corda.

- Observador no inercial: per l'observador que gira amb la plataforma l'objecte està en repòs,  $\vec{a} = \mathbf{0}$ . És a dir, s'observa una força fictícia que contraresta la tensió perquè no hi hagi acceleració centrípeta. Aquesta força ha de ser

$$\vec{F}_c = m \frac{v^2}{r} \cdot \vec{n}$$



Aquest observador sent la força com si fos perfectament real, ni que sigui la conseqüència de l'acceleració de sistema de referència en què es troba.

El principi d'inèrcia es compleix quan no actuen forces sobre un cos o quan les forces que hi actuen es contraresten entre si. En aquests casos, és quan diem que el cos està en equilibri. Segons aquesta llei, podríem dir que l'efecte de les forces no és mantenir el moviment, com pensava Aristòtil, sinó modificar-lo, és a dir, accelerar-lo.

Una dificultat que es van trobar en aquella època, va ser que els cossos a la Terra no es mantenen mai indefinidament en moviment. Tots els mòbils perden la velocitat i s'acaben parant. Es creia que aquesta desacceleració podria ser provocada per falta d'una força. Però Galileu va raonar que era a causa d'una altra força que els frena. Aquestes forces són les anomenades forces de fregament, que si no fos per aquestes els cossos de la Terra es mourien indefinidament.

Aquestes forces de fregament (fricció) són les que s'interposen en la ballarina per evitar que es desplaci indefinidament, que és paral·lela a la nostra àrea de suport i es deu a les irregularitats en la superfície del terra i dels nostres peus o sabatilles.



**Figura 4.** Fregament de la sabatilla de ballet.



<https://youtu.be/UREqEIVx0Ho>

**Vídeo 3.** Fregament puntes

Una altra manera de frenar el moviment de la ballarina pot ser un company que ve a trobar-se-la.

<https://youtu.be/gVB8UKkf9JY>

**Vídeo 4.** Trencanous, 2018.

El ballarí, quan agafa a la ballarina, fa una força amb la qual, la ballarina evita desplaçar-se més, trencant-li el moviment d'inèrcia.

## 1.3.3.2. Aplicacions de la primera llei de Newton

Es pot considerar com a exemple il·lustratiu d'aquesta primera llei o llei de la inèrcia una bola lligada a una corda, de manera que la bola gira seguint una trajectòria circular. A causa de la força centrípeta de la corda (tensió), la massa segueix la trajectòria circular, però si en algun moment la corda es trenqués, la bola prendria una trajectòria rectilínia en la direcció de la velocitat que tenia la bola en l'instant de trencament .



**Figura 5.** Exemple de la primera llei o llei de la inèrcia. Una bola lligada a una corda.

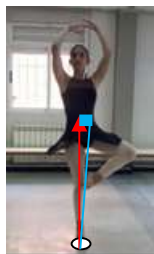
Quant a ballet, podríem posar els següents exemples:

- En el gir o pirouette. Una ballarina tindrà més moment d'inèrcia si estén o allarga els braços. Si volem girar més ràpid pugem els braços a dalt o els pleguem a prop del nostre cos i tindrem la massa alineada al seu eix de rotació. Com més a prop de l'eix tinguem la massa, més fàcil serà girar.

**Figura 6.**

Ballarina fent una pirouette i el centre de gravetat canvia durant el gir.

- Punt de recolzament
- ▲ Centre de gravetat original
- Centre de gravetat durant el gir



<https://youtu.be/FI5IJhYqwOw>

**Vídeo 5.** Pirouette en dedans amb braços dalt, per poder girar més ràpid.

Mitjançant aquests dos experiments ho podem veure clarament.

- a) Aquesta seria la nostra particular ballarina, el seu tronc i les seves extremitats superiors. En aquest moment té els braços estesos.



**Figura 7.** Esquelet d'una ballarina amb els braços estesos.

Mirem com gira amb els braços estesos posant-li la força mitjançant la qual la farem girar. Seguidament ho comparem amb el moment en el qual la ballarina té els braços enganxats al cos, i exactament, amb la mateixa força, la farem girar. Fixem-nos que va molt més ràpid.



**Figura 8.** Esquelet d'una ballarina amb els braços plegats.

Per què passa això?

<https://youtu.be/N1Cg4NHJA0k>

**Vídeo 6.** Explicació experiment ballarina braços estesos/braços plegats

- b) Passem al següent experiment. Tenim dos pots, un d'ells ple de pedres i l'altre, amb un pot més petit que introduïm al seu interior també ple de pedres (representaria la ballarina amb els braços a dalt) i que els deixem anar des del mateix punt d'una rampa. Els pots baixen rodolant; però, el pot que a dins hi té l'altre pot més estret baixa més ràpid. Per què?

**Figura 9.** Experiment amb dos pots plens de pedres



1. Pots amb pedres.



2. Pots en el mateix punt de sortida.



3. Pots baixant per la rampa

Per què passa això?

<https://youtu.be/HBAP2XUbiKI>

**Vídeo 7.** Explicació experiment dels pots plens de pedres.

L'explicació la trobem en la inèrcia i en el moment de la força. En els girs hi ha una acceleració que està directament relacionada amb la massa de la persona. En aquest cas l'acceleració no és lineal, sinó rotacional (o angular), i la massa és reemplaçada per la inèrcia rotacional, és a dir, la resistència que té un cos a girar. Quant més gran és la inèrcia, més lenta serà la rotació a l'aplicar la força. Cal dir que la inèrcia de rotació no depèn només de la

# El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano

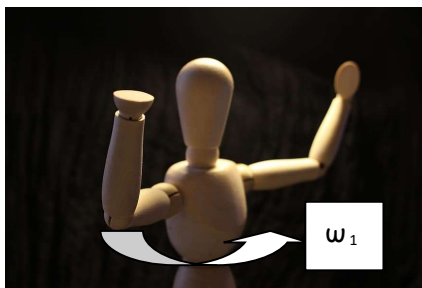
massa, sinó també de com aquesta es distribueix al voltant de l'eix de gir: quant més a prop estigui de l'eix, més petita serà la inèrcia. Per això les ballarines, tal com hem dit anteriorment, quan apropem els braços al cos, podem girar molt més ràpid.

En el nostre primer experiment, gira més ràpid quan té els braços plegats perquè estan més a prop de l'eix i té la massa alineada al seu eix de rotació, al seu cos.

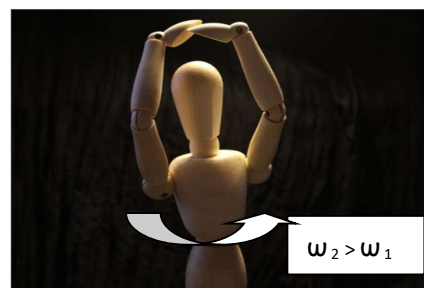
En el segon experiment, roda més ràpid el pot de pedres que té un altre pot de pedres al seu interior perquè les pedres estan més a prop de l'eix tenint la massa alineada al seu eix de rotació. La ballarina, en recollir els seus braços, la distribució de masses respecte a l'eix varia: tota la massa es concentra més a prop d'ella mateixa, per la qual cosa el moment d'inèrcia ( $I$ ) disminueix. En el moviment de plegar els braços no són necessaris moments de força, pel que el moment angular roman constant.

$$(I_1 \cdot \vec{\omega}_1)_{\text{abans}} = (I_2 \cdot \vec{\omega}_2)_{\text{després}}$$

Això significa que, donat que  $I_2$  és menor que  $I_1$ , la velocitat angular  $\omega_2$  ha de ser més gran que  $\omega_1$ . És a dir, quan la ballarina plega els seus braços, la seva velocitat angular augmenta.



**Figura 10.** Ballarina amb els braços oberts  
Gir lent  
 $I_1$



**Figura 11.** Ballarina amb els braços plegats  
Gir ràpid  
 $I_2 < I_1$

La ballarina pot augmentar la seva velocitat de gir recollint els seus braços: en situar-se les partícules a l'eix de gir, disminueix el moment d'inèrcia  $I$ , per la qual cosa la velocitat ha d'augmentar per a mantenir el moment angular constant.

- També podem aplicar la primera Llei de Newton quan fem els Fouettés<sup>6</sup>. Fixem-nos en la seqüència dels 6 fotogrames en la realització del fouetté per part de la ballarina.

<https://youtu.be/o1EHD3iDmQ>

**Vídeo 8.** Fouetté

<sup>6</sup> Girs que utilitza la força de la cama contrària a la que suporta com a impuls per a girar. El cap passa respecte als braços sincrònicament per a mantenir l'equilibri.



**Figura 12.** Seqüència d'un fouetté

La seqüència s'ha de veure en sentit horari, des de la part superior, repetidament a través dels sis fotogrames. El cos gira molt poc mentre la cama té la major part del moment de rotació a les vistes 2,3 i 4. A continuació, el cos gira ràpidament en les fotografies 5 i 6 mentre la cama es manté en una posició propera al cos, on té menys inèrcia rotacional.

Tal com diu la Primera Llei de Newton, en absència de qualsevol força provinent del món exterior, un cos quiet roman quiet, i un que es mou seguirà movent-se en línia recta amb rapidesa constant, és a dir que la seva acceleració és zero. Aquesta resistència d'un cos a canviar el seu estat de moviment es diu inèrcia.

Quan un cos es troba girant existeix velocitat rotacional, i existeix també un moment rotacional o angular, que és quelcom semblant al moment lineal (present quan un cos es desplaça), però que en lloc de la massa utilitza la inèrcia. El moment rotacional és la quantitat de moviment de rotació que té un cos (per exemple, un helicòpter que avança té un moment lineal, mentre que la seva hèlix té un moment rotacional).

Si no existeix un torque<sup>7</sup> o tendència a la rotació produïda per una força que s'aplica fora del centre de massa de l'objecte, el moment rotacional es manté constant, com diu Newton a la seva primera llei. No obstant, la inèrcia pot canviar, a diferència de la massa. Llavors, encara

<sup>7</sup> "Força de gir" que pot alterar l'impuls angular de la ballarina.

# El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano

que el moment rotacional sigui constant, la velocitat pot estar canviant. Així doncs, el moment rotacional és més complicat que el lineal, perquè no solament varia la velocitat, sinó també la inèrcia.

Caldria explicar més detingudament alguns dels conceptes que han sortit en aquest apartat:

- **Moment d'una força o torque:**

És el producte vectorial entre una força (amb tendència a torçar o fer girar un objecte) i una distància. Sense força no hi ha acceleració o canvi d'impuls.

$$\vec{M} = \vec{F} \cdot \vec{r}$$

on

$\vec{r}$  és el radi vector entre el punt O i el punt d'aplicació de la força

$\vec{F}$  és la força que actua sobre el sòlid

<https://youtu.be/jXPgCII3gnk>

Vídeo 9. Moment d'una força. Pirouette.

- **Inèrcia rotacional:**

És la inèrcia d'un objecte en rotació i indica el difícil que és fer que un objecte giri (o pari si ja està girant). Depèn de la massa de l'objecte, quant més gran és la massa, més gran és la inèrcia rotacional. També depèn del lluny que es col·loqui la massa de l'objecte respecte a l'eix rotacional. Si aquesta distància es duplica, la inèrcia rotacional es quadruplica.

- **Inèrcia:**

És la tendència d'un objecte a seguir fent el que està fent; com més gran és la inèrcia, més gran és la dificultat per a posar-lo en moviment, aturar-lo o canviar la seva direcció.

- **Moment angular:**

És la inèrcia rotacional multiplicada per la velocitat angular.

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$$

Si un objecte té un gran moment angular, és difícil aturar el seu gir. El moment angular total  $\vec{L}$  d'un cos pot canviar sols si hi ha un parell de forces o torques actuant sobre ell. Quant més gran és la inèrcia rotacional, menor és la velocitat angular.

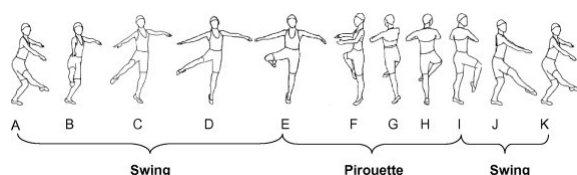


Figura 13. Moment angular. Fouetté (+ pirouette)

<https://youtu.be/o1EIH3iDmQ>

Vídeo 10. Moment angular. Fouettés.

### 1.3.4. Segona llei o principi fonamental de la dinàmica

Aquesta segona llei estableix que la variació de l'estat del moviment que experimenta un cos, o acceleració, és directament proporcional a la força neta que actua sobre aquest cos. Aquesta acceleració depèn de la massa.

#### 2a. Llei de Newton

Segons el principi fonamental de la dinàmica, si la resultant de les forces que actuen sobre un cos NO és zero, aquest cos adquireix una acceleració (variació de la seva velocitat en la unitat de temps) directament proporcional a la força, i es realitza en la direcció en què actua la força. La constant de proporcionalitat entre la força i l'acceleració és la massa del cos:

$$\sum \vec{F}_r = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m \cdot \vec{a} \longleftrightarrow \vec{v} \neq \text{constant}$$

D'acord amb aquest principi, la massa d'un cos és la mesura de la seva resistència a canviar de velocitat: com més gran sigui la massa del cos, més gran serà la força que hem de fer per poder adquirir una acceleració determinada. Podem definir la inèrcia d'un cos com la resistència que presenta aquest als canvis de velocitat. Per tant, deduïm que la massa és la mesura de la inèrcia. Llavors podem anomenar massa inèrcia a la constant de proporcionalitat  $m$  que apareix al principi fonamental de la dinàmica. La unitat de força del sistema internacional (SI) és el newton, representat amb el símbol **N**. Com que la unitat de massa del SI és el quilogram (kg) podem definir la força a partir de la massa:

Un newton és aquella força que cal fer sobre un cos d'1 kg de massa per tal que adquireixi una acceleració d'1 m/s<sup>2</sup>

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

#### 1.3.4.1. Si la massa és constant

Si la massa del cos és constant es pot establir la següent relació, que constitueix l'equació fonamental de la dinàmica:

$$\vec{F}_{\text{resultant}} = m \cdot \vec{a}$$

On  $m$  és la massa del cos la qual ha de ser constant per ser expressada d'aquesta manera. La força neta que actua sobre un cos, també anomenada força resultant, és el vector suma de totes les forces que sobre ell actuen. Així doncs:

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

L'acceleració que adquireix un cos és proporcional a la força aplicada, i la constant de proporcionalitat és la massa del cos.

La força modificarà l'estat de moviment, canviant la velocitat en mòdul o direcció. Les forces són causes que produeixen acceleracions en els cossos; per tant, hi ha una relació causa - efecte entre la força aplicada i l'acceleració que aquest cos experimenta.

### 1.3.4.2. Si la massa no és constant

Si la massa dels cossos varia, com per exemple un coet que va cremant combustible, no és vàlida la relació  $\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$  i cal fer genèrica la llei perquè inclogui el cas de sistemes en els que pugui variar la massa. Per això primer cal definir una magnitud física nova, la quantitat de moviment<sup>8</sup>, que es representa per la lletra  $\mathbf{p}$  i que es defineix com el producte de la massa d'un cos per la seva velocitat, és a dir:

$$\vec{\mathbf{p}} = m \cdot \vec{\mathbf{v}}$$

Newton va enunciar la seva llei d'una forma més general:

$$\vec{\mathbf{F}}_{\text{neta}} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt}$$

D'aquesta manera es pot relacionar la força amb l'acceleració i amb la massa, sense importar que aquesta sigui o no sigui constant. Quan la massa és constant surt de la derivada amb el que queda l'expressió:

$$\vec{\mathbf{F}}_{\text{neta}} = m \cdot \frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

I s'obté l'expressió clàssica de la Segona Llei de Newton:

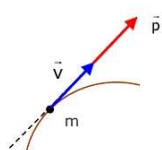
$$\vec{\mathbf{F}}_{\text{neta}} = m \cdot \vec{\mathbf{a}}$$

### 1.3.4.3. Quantitat de moviment o moment lineal

La quantitat de moviment o moment lineal d'un objecte es defineix mitjançant l'expressió:

$$\vec{\mathbf{p}} = m \cdot \vec{\mathbf{v}}$$

És a dir, és una magnitud vectorial proporcional a la massa i a la velocitat de l'objecte.



És el producte d'un escalar positiu (massa) per un vector (velocitat). És, per tant, un altre vector amb la mateixa direcció i el mateix sentit que el vector velocitat.

Figura 14. Moment lineal

<sup>8</sup> La denominació tradicional *quantitat de moviment* tendeix a ser substituïda, sobretot en tractaments més teòrics, per *moment lineal*.

La relació entre la força resultant constant aplicada a un cos i la seva quantitat de moviment

és:

$$\vec{F} = \sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

Si:

donat que l'acceleració és constant:

$$\vec{a} = \vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

substituint:

$$\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{(m\vec{v} - m\vec{v}_0)}{\Delta t} = \frac{m\vec{v} - m\vec{v}_0}{\Delta t} = \frac{\vec{p} - \vec{p}_0}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

$$\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

L'equació anterior és una forma alternativa d'enunciar la segona llei de Newton.

➔ La força resultant que actua sobre un cos és igual a la variació de la seva quantitat de moviment respecte del temps.

Aquesta equació permet formular:

$$\text{si } \sum \vec{F} = 0 \rightarrow \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = 0 \rightarrow \Delta \vec{p} = 0 \rightarrow \vec{p} = \text{constant}$$

Si la força resultant que actua sobre un cos és zero, la quantitat de moviment del cos es manté constant.

L'impuls mecànic (**I**) que una força constant **F** dona a un cos és el producte de la força pel temps que hi actua.

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \sum t$$

És una magnitud vectorial, producte del vector força per l'escalar positiu  $\sum t$ . Té, per tant, la mateixa direcció i el mateix sentit que el vector força.

En el SI el seu mòdul s'expressa en N·s

### Conservació de la quantitat de moviment

- Xoc elàstic: romanen constants la quantitat de moviment i l'energia cinètica. Dues partícules de masses diferents que només interactuen entre si i que es mouen amb

velocitats constants i diferents una cap a l'altra. Després del xoc, roman constant la quantitat de moviment i l'energia cinètica.

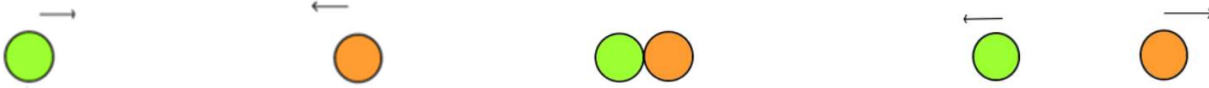


Figura 15. Boles representant xoc elàstic

- Xoc inelàstic: es manté constant la quantitat de moviment i varia l'energia cinètica. Com a conseqüència, els cossos que xoquen poden patir deformacions i augment de la seva temperatura. Després d'un xoc totalment inelàstic, els dos cossos tenen la mateixa velocitat. La suma de les seves energies cinètiques és menor que la inicial perquè una part d'aquesta s'ha transformat en energia interna; en la majoria dels casos arriba a ser escampada en forma de calor a causa de l'escalfament produït en el xoc. En el cas ideal d'un xoc perfectament inelàstic entre objectes, aquests romanen units entre si després de la col·lisió.

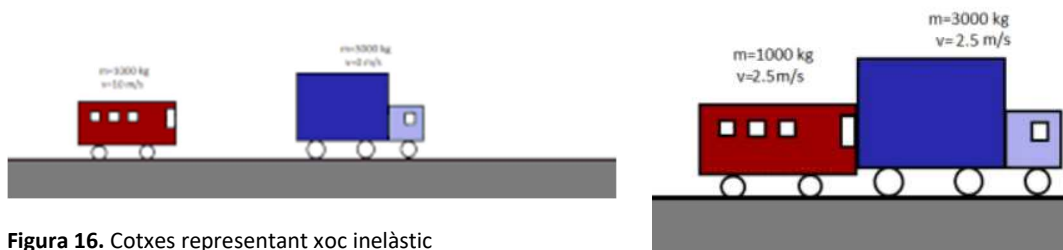


Figura 16. Cotxes representant xoc inelàstic

### 1.3.4.4. Aplicacions de la segona llei de Newton

Caiguda lliure: és un moviment que s'observa quan un objecte es deixa caure des d'una certa altura sobre la superfície de la terra. Per estudiar el moviment es tria un sistema de coordenades on l'origen de l'eix  $y$  està sobre aquesta última. En aquest sistema tant la velocitat de caiguda com l'acceleració de la gravetat tenen signe negatiu. En l'exemple representat se suposa que l'objecte es deixa caure des del repòs, però és possible que caigui des d'una velocitat inicial diferent de zero.

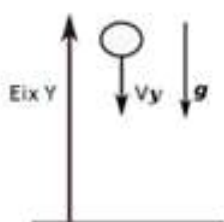
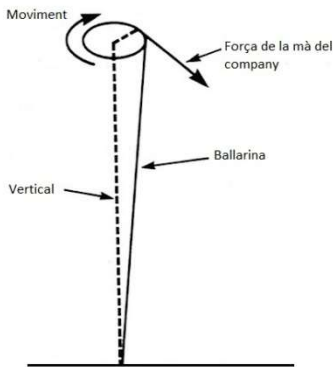


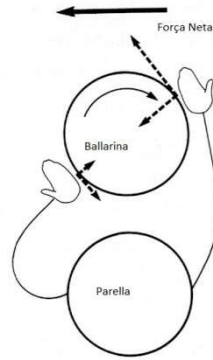
Figura 17. Caiguda lliure

Quant a ballet, podríem posar com a exemples:

- Si s'aplica una força externa sobre un cos, aquest patirà una acceleració inversament proporcional a la seva massa ( $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ). Llavors, si volem que el centre de gravetat de la ballarina s'acceleri<sup>9</sup>, necessitarem una força provinent del món exterior. I mentre menys pesada sigui la ballarina, menor serà la força que necessita per accelerar-se.



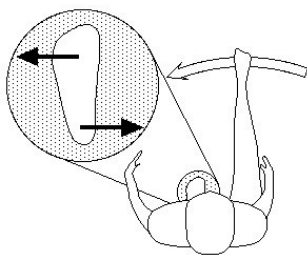
**Figura 18.** Aquest diagrama mostra la direcció de la força de la mà del company de suport necessària per mantenir la rotació. S'ha de tenir en compte que la mà s'ha de moure en un cercle petit, tirant de la ballarina que gira al voltant d'un eix vertical.



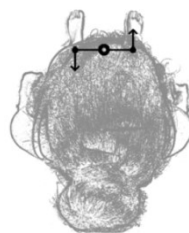
**Figura 19.** Posició de les mans de la parella per als girs aplicant la força neta necessària, vist des de dalt.

- I també, a l'hora de realitzar una pirouette. Sabem que  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

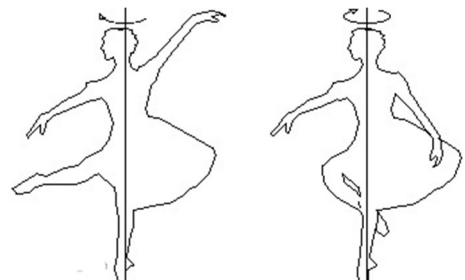
La inèrcia rotacional és, en definitiva, el factor determinant perquè una ballarina comenci i deixi de girar. Es basa en la seva massa i en la distància que es troba del seu eix de rotació. Com més gran sigui la massa de la ballarina, major quantitat d'inèrcia rotacional. Així que, com que  $\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$ , com més gran és la inèrcia rotacional, menor serà la velocitat angular. Quan gira, com més impuls angular, més difícil és que deixi de girar. Un altre principi clau que s'ha d'aplicar quan es vol fer una pirouette és el torque. Es crea mitjançant la fricció entre el seu peu i el terra. En relació amb la segona Llei de Newton, la suma de les forces durant la pirouette és el producte de la massa de la ballarina i de la rapidesa amb la qual gira. Com més gran sigui la velocitat angular de la ballarina, més petita és la inèrcia rotacional (i viceversa).



**Figura 20.** Aquesta imatge mostra com la fricció afecta la ballarina a mesura que comença el seu gir.



**Figura 21.** Vista superior d'una ballarina. Posició del torque.  
● Punts de recolzament  
○ Eix rotacional



**Figura 22.** Moviment d'inèrcia (I) i Velocitat angular (ω)  
I més gran                      I més petit  
ω més petita                      ω més gran

<sup>9</sup> Que comenci a moure's des del repòs, es pari o canviï la direcció o rapidesa del seu moviment.

## 1.3.5. Tercera llei o principi d'acció i reacció

Aquest principi posa de manifest que les forces són el resultat de la interacció de dos o més cossos i que, per tant, les forces sempre es donen per parells<sup>10</sup>.

### 3a. Llei de Newton

El principi d'acció-reacció estableix que quan un cos exerceix una força **F** sobre un segon cos (acció), aquest efectua sobre el primer una altra força **F'** que té el mateix mòdul i la mateixa direcció que **F**, però en sentit contrari (reacció):

$$\mathbf{F}' = - \mathbf{F}$$

Els parells de forces acció-reacció són sempre vectors oposats però actuen sobre cossos diferents i, per tant, els seus efectes no es contraresten entre ells.

$$\mathbf{F}_{12} = - \mathbf{F}_{21}$$

#### 1.3.5.1. Aplicacions de la Tercera Llei de Newton

L'existència d'aquestes forces d'acció i reacció les trobem en molts exemples a la nostra vida quotidiana: si donem un cop amb la mà sobre una taula (força d'acció) la taula respon amb una altra força que actua sobre la nostra mà (força de reacció) que té el mateix mòdul i direcció però sentit contrari, per aquest motiu com més fort donem el cop, més mal ens fem a la mà.

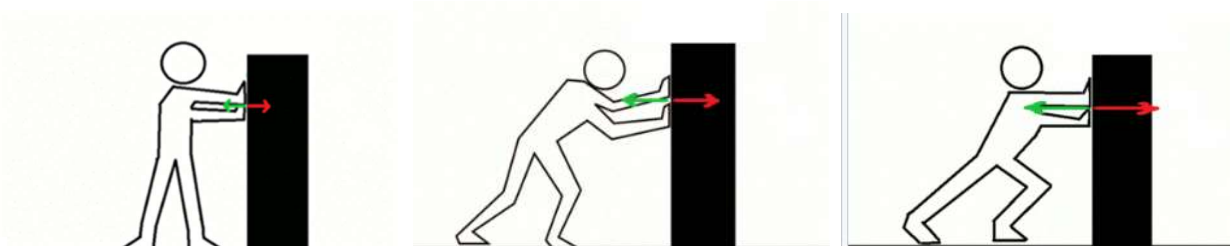
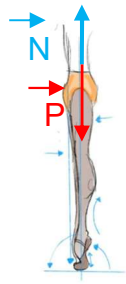


Figura 23. La força de reacció (fletxa verda) augmenta conforme augmenta l'aplicada a l'objecte, la força aplicada (fletxa vermella).

Aquesta llei és molt important en el ballet perquè, un cos, per accelerar-se, necessita una força aplicada sobre ell, i d'aquesta manera respon aplicant una força igual i oposada a la que l'està empenyent. Quan estem ballant, encara que sembli que estem soles, el terra està ballant amb nosaltres, ja que empeny en contra de la gravetat i ens sosté.

<sup>10</sup> Sistema constituït per dues forces d'igual mòdul, paral·leles i de sentit contrari i tals que les rectes d'aplicació no són coincidents.

Uns exemples serien:



- quan una ballarina està en relevé<sup>11</sup>, el parell de forces que actuen és igual a zero, les dues úniques forces que actuen sobre ella són la força del terra, que exerceix una força cap amunt i la força descendent de la Terra. Per tant, la força neta de la ballarina és zero, la qual cosa li permet equilibrar-se.

Figura 24. Força neta. Posició en relevé.

- o quan fem el Grand jeté. Si la ballarina vol accelerar-se cap al davant de l'escenari, ha d'aplicar una força contra el terra cap enrere; llavors, el terra li respon amb la mateixa força però en el sentit en què la ballarina vol avançar.

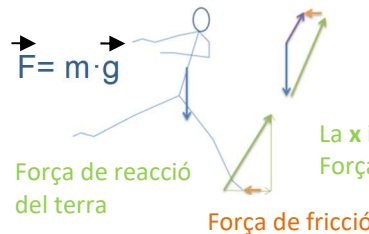


Figura 25. Grand jeté



Força de reacció del terra

Figura 26. Força neta, zero



La força neta és igual.  
El moviment horitzontal positiu és igual al moviment vertical positiu.

La x i la y components de la Força de Reacció del terra

Força de fricció

Figura 27. Força més desplaçament

Continuem amb l'exemple que hem posat, tant a la primera com a la segona llei de Newton, referent al gir que fa la ballarina. Mentre aquesta busca l'equilibri, pot ser que el seu cos caigui cap al davant, però no cau. El seu cos es doblega i la part superior s'inclina... cap al davant. Com s'explica que no caigui? Si el cos es doblega cap al davant a l'alçada de la cintura quan comença a caure, es genera una rotació de la part superior al voltant d'un eix horitzontal que passa pel centre (a prop del melic). Perquè el moment rotacional es conservi, la resta del cos intentarà rotar en el sentit contrari. Així, les cames tracten de rotar cap al davant des del maluc, pressionant cap al davant contra el terra. Segons la Tercera Llei de Newton, el terra exercirà una força en sentit oposat o sigui, cap endarrere contra els peus. I llavors, apareix la força del món exterior que l'empeny en la direcció desitjada, i la porta de nou a l'equilibri.

El que permet que torni a estar en equilibri no és la manipulació directa del nostre cos, sinó la força horitzontal que el terra exerceix contra ella, canviant la posició del seu centre de gravetat. Estendre els braços ajuda a recobrar l'equilibri d'una manera més fàcil.

<sup>11</sup> Elevació del terra dels talons del peu o els peus d'una ballarina

<https://youtu.be/9M10y6nH0IU>

Vídeo 11. La pirouette i la 3a llei de Newton



Figura 28. Equilibri de la ballarina

En resum, per ballar sense caure és necessari identificar les forces que ens mantenen en equilibri i les que no. A partir d'aquest reconeixement, podem determinar quins ajustos s'han de fer en el nostre cos per a què alguna força del món exterior ens permeti recuperar l'equilibri. El nostre centre de gravetat ha d'estar sobre la línia vertical que passa per l'àrea de suport sobre el terra.

Quan perdem l'equilibri, encara podem fer algun ajustament per a recuperar-lo:

- Posicionar de nou el centre sobre l'àrea de suport mitjançant una força horitzontal aplicada contra el terra. S'aconsegueix rotant la part superior del cos.
- Desplaçar l'àrea de suport perquè quedi sota del nostre centre. S'aconsegueix modificant la posició o la distribució del pes sobre els peus i els turmells.

Equilibrar-se mentre es rota és complicat perquè la direcció en la que s'han de fer els ajustaments canvia en relació amb el moviment del cos, perquè la força s'aplica sobre el món exterior, que continua fix.

Existeix un moviment accessori que també ajuda a les ballarines a mantenir l'equilibri durant el gir: la tècnica de *spotting*. Aquest consisteix en mantenir la vista enfocada en una direcció fixa mentre el cos gira, i quan s'arriba a la màxima torsió, es rota el cap ràpidament en la direcció del gir per a tornar a mirar cap a la direcció original.

<https://youtu.be/YBVb1rtJWVQ>

Vídeo 12. Tècnica de l'Spotting fent un Fouetté

Quan ballem és molt difícil pensar tot el temps en les ajustaments necessaris per a estar en equilibri. Però no ens hem de preocupar perquè, ja sigui per l'estudi de la física, per les nombroses caigudes, o perquè el teu cervell grava els moviments al llarg de les pràctiques que realitzes mentre balles, el cos comença a equilibrar-se de manera quasi automàtica, sense haver de passar comptes.

Com a conclusió i amb tota aquesta explicació, podem començar a afirmar que la cinemàtica, l'estàtica i la dinàmica proveeixen les eines necessàries per a analitzar els moviments que fem al ballar i d'intentar trobar la solució en la recerca de la perfecció.

## 2. LA DANSA

### 2.1. Breu evolució històrica de la dansa

La dansa és un art consistent en expressar-se mitjançant moviments del cos normalment al ritme de la música. Es fa servir bé com a forma d'expressió, bé com a interacció social o bé pot estar present en actes espirituals o en altres tipus d'actuacions artístiques. L'ésser humà va aprendre a ballar abans que a parlar. Juntament amb el teatre i la música, la dansa és una de les tres arts escèniques que existeixen des de l'antiguitat.

Realitzarem un recorregut històric per la dansa, que permeti apreciar la seva importància com a fenomen social i cultural, i la seva evolució.

L'origen de la dansa es pot fer arribar a l'antiguitat quan es feien pantomimes i danses, i encara que no en queden testimonis escrits l'estudi dels pobles primitius contemporanis fa pensar que els homes més primitius devien acompanyar els seus rituals amb algun tipus de moviment rítmic que es podria



Foto extreta de: <http://apuntes.santanderlasalle.es/arte/prehistoria/levantina/cogul.htm>

considerar un ball o dansa que podia ser de molt elemental a molt ric i sofisticat (generalment, per propiciar la caça i les collites, com a ofrenes als déus, per tranquil·litzar els desbordaments de la naturalesa,...).



Foto extreta de: <http://evoluciondelbaile.blogspot.com/2015/11/danza-en-la-antiguedad.html>

Al món occidental, va ser a l'antiga Grècia un dels primers llocs on la dansa, conjuntament amb la música i la poesia, va ser considerada un art anomenat mousiké, l'art de les muses. Els primers vestigis grecs provenen dels cultes a Dionís, mentre que va ser en les tragèdies gregues on es va desenvolupar com a tècnica, amb els moviments rítmics del cor.

A Europa, a l'edat mitjana es feien balls en ocasions importants. En general però estava perseguida per l'Església, que la considerava un ritu pagà. A nivell eclesiàstic, l'únic vestigi eren les «dances de la mort», que tenien una finalitat moralitzadora.



Foto extreta de: <https://ar.pinterest.com/pin/712413234782206790/>

Ja a la Baixa Edat Mitjana, amb el Renaixement, la dansa va adquirir notable auge. Es van publicar tractats de coreografia i els mestres de ball es van agremiar. S'inicia la configuració primitiva del ballarí virtuós.

L'adveniment del Renaixement va portar una actitud nova cap al cos, les arts i la dansa. Les corts d'Itàlia i França es van convertir en el centre dels nous desenvolupaments en la dansa, gràcies als mecenatges als mestres de dansa i els músics que van crear grans danses a escala social que van permetre la proliferació de les celebracions i festivitats.

Durant el barroc passa a ser ballet teatral, en què els ballarins han d'expressar determinats sentiments: dolor, alegria, odi, esperança.

Pierre Beauchamps, mestre i coreògraf durant 20 anys del rei Lluís XIV, va ser qui va fixar el vocabulari francès de la dansa.

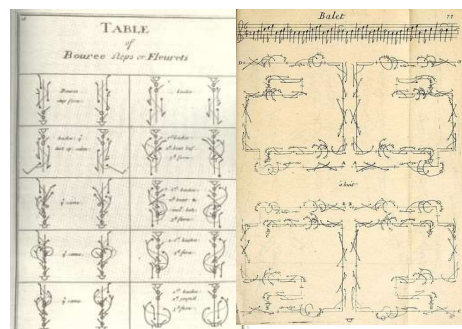
El 1661 Lluís XIV rei de França (excel·lent dansaire) va autoritzar l'establiment de la primera Reial Acadèmia de Dansa, destinada a establir la dansa en tota la seva perfecció.



Foto extreta de: [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Ballando\\_lesson\\_by\\_Pietro\\_Longh](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Ballando_lesson_by_Pietro_Longh)



Rei Lluís XIV de França. Foto extreta de: <https://ca.wikipedia.org/wiki/>



Pierre Beauchamp, Orchesography (1700), Dance choreog  
Extret de: <https://www.pinterest.com/pin/317855686198822745/>

El 1713 es funda a París el Conservatori de la Dansa, destinat als futurs ballarins d'aquet teatre. L'objectiu és desenvolupar els principis de la dansa francesa: harmonia, coordinació dels moviments, exactitud de les actituds, rebuig de la proesa exhibicionista, dissimulació de l'esforç, lleugeresa.

Cal tenir en compte que, al principi, tots els ballarins eren homes i els papers femenins els interpretaven homes disfressats. Aixecar les cames era considerat obscè en una dona i els llargs vestits amb prou feines els permetien algun moviment de genolls cap avall.

# El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano

L'Òpera de París, durant la segona meitat de segle XVIII, va perfeccionar les tècniques acadèmiques de dansa. Als segles següents el ballet es va anar convertint en una disciplina artística reglada i va ser adaptant-se als canvis polítics i estètics de cada època.



Edgar Degas, Ensayo en la clase de danza (1872)  
Extret de: <https://www.pinterest.com/pin/>

El segle XIX va ser l'època del ballet romàntic, en el qual es reflecteix el culte a la ballarina i la lluita entre el món terrenal i l'espiritual. Va ser llavors quan van sorgir els ballets més coneguts actualment: Giselle, La Sífide, el Llac dels Cignes, La Bella Dorment del Bosc, Trencauous, entre molts d'altres.

En aquesta època es creen, definitivament, les regles del ballet (Carlo Blasis, 1820). Blasis descriu al ballarí clàssic començant per la prestància de la seva actitud i el seu caràcter ingràvid. Ha de reconèixer el seu cos a partir de la punta del peu i de la posició de *plié*, i llançar-se d'allí cap a l'altura. Cada moviment ha de ser conseqüència de l'anterior i de precedir el següent, creant una autèntica frase ballada.

Un dels personatges més destacat en la història del ballet és Màrius Petipà (1822-1910), ballarí, mestre i coreògraf. És el responsable de portar el gènere, des de Rússia, a una regeneració del ballet francès i de les coreografies més conegudes del ballet clàssic (algunes anteriorment esmentades: Paquita, Esmeralda, Giselle, El llac dels cignes, La Bella Dorment, Trencauous).



El Llac dels cignes. Ballet de Moscó.  
Extret de: <https://forum.ad/el-ballet-de-moscou>

A principis de segle XX va aparèixer a Europa la figura de Sergei Diaghilev, director dels Ballets Russos. La companyia que ell sustentava va iniciar una revolució en la dansa, per les seves originals i atrevides coreografies; semblava estar preparant el camí a noves fórmules i experiències, tot i que continuaven dins dels límits del ballet clàssic. Entre els ballarins de la seva companyia van destacar, entre d'altres, Anna Pavlova i Vaslav Nijinski. Paral·lelament amb Isadora Duncan, obririen la porta de la dansa moderna, que posteriorment i gràcies a Martha Graham evolucionaria en la dansa contemporània.



Anna Pavlova en "El llac dels cignes". Extret de: Wikipedia



Vaslav Nijinski (wikipedia)



Isadora Duncan (wikipedia)



Merce Cunningham i Martha Graham (wikipedia)

## 2.2. Fonaments teòrics de la dansa

I és a partir d'aquí que la definició de dansa passa a ser més integradora (Megías 2009, p.31):

- ✓ *"La dansa és el desplaçament efectuat en l'espai per una o totes les parts del cos del ballarí, dissenyant una forma, impulsat per una energia pròpia, amb un ritme determinat, durant un temps de més o menys durada".*

L'ús predominant d'un o altre dels elements del moviment (ritme, espai, temps, forma i energia) no és sempre parell. En algunes danses predomina el ritme, en altres l'ús de l'espai, etc. D'acord al caràcter d'aquesta s'accentuarà l'ús d'un o altre element.

Segons explica Matamoro (1998, p.33-34) *"El ballarí clàssic només pot fer amb el seu cos el que està establert en el codi de les posicions de braços i cames, els passos regulats i l'actitud canònica del conjunt. És una imatge interior del cos que s'exterioritza en una harmoniosa organització tant del moviment com del repòs i que culmina als peus, que suporten tot el pes a partir d'una posició vertical de la columna vertebral, sense que sobresurti la pelvis ni tampoc s'enfonsi. És el sùmmum de la gravetat i l'equilibri que permet distribuir la simetria bilateral del cos".*

És en aquest moment que ja comencem a trobar vocabulari de l'àmbit de la física: espai, temps, energia, gravetat, equilibri,...que fins ara encara no les havíem vist. Observem doncs, com la dansa ha anat seguint una evolució vers l'estudi del cos i les posicions correctes, cercant informació i estudis, entre d'altres, en la física, per poder arribar a la perfecció dels moviments i la seva execució.

# El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano



El Llac dels cignes (wikipèdia)



Llac dels cignes (wikipèdia)



El Llac dels cignes (wikipèdia)

Aquesta breu descripció resumeix a grans trets aquest estil de dansa, posant l'accent en la col·locació bàsica (esquena) i en els eixos essencials (peus, equilibri) per al seu desenvolupament.

Tots els moviments de la dansa clàssica es descomponen en posicions amb una descripció molt acurada i estricta, i cal mostrar una tècnica polida. Aquí us en mostro tres exemples.



Figura 29: 1ª. posició



Figura 30: Tendu



Figura 31: Arabesque

La terminologia del ballet emprada internacionalment és la francesa.

A la dansa clàssica les cames estan sempre en "*andèor*" (*en dehors*, veu francesa per dir *cap enfora*) que significa que les cames uneixen la seva banda de darrere dels talons com els pingüins, la banda de darrere dels genolls, i els engonals estan completament oberts, enlloc d'estar paral·lels. Els genolls sempre estan sobre les puntes dels peus i les espatlles sobre els malucs. Els peus sempre estan estirats, com una prolongació de la cama. Les cames i els braços es mouen delicadament. El cap i les mans també ballen. La cara no pot mostrar esforç ni cap emoció que no correspongui al personatge que s'interpreta.

Ara... només cal escoltar la música i deixar-se portar.



## 3. LA FÍSICA APLICADA A LA DANSA

Parlar de la física de la dansa ens ajuda a entendre què passa mentre ballem, com es produeixen els moviments i quines forces les provoquen, quins factors alteren l'equilibri i com es restableix.

L'anàlisi dels moviments simples que hem fet en l'apartat de la teoria ens dona eines per a l'anàlisi dels més complexos. Desmuntarem en trossets els moviments més simples i els més complexos, per comprendre com el nostre cos aplica i rep les forces necessàries per a realitzar-los. La gravetat, el moment lineal, el torque, els punts de recolzament i el centre de gravetat es combinen per donar lloc a la més primitiva de les expressions humanes.

Hem acabat la part més teòrica afirmant que la mecànica i, dins d'ella, la cinemàtica, l'estàtica i la dinàmica proveeixen les eines necessàries per analitzar els moviments que fem al ballar. El moviment de la ballarina queda explicat, entre d'altres, per la suma d'aquests tres apartats. En la part pràctica analitzarem els moviments que jo, com a ballarina, realitzo, i la forma en què aquests es connecten per donar lloc a les diferents figures de dansa, concretament el *Grand jeté* (pas que llança), objecte d'estudi d'aquest treball de recerca.

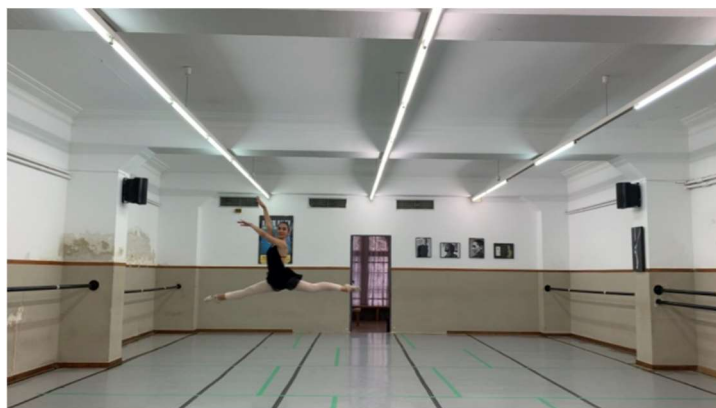


Figura 33: Grand jeté realitzat el novembre de 2020 al CdL de Reus

### 3.1. Grand jeté

Aquest és un pas de ballet impressionant en el qual la ballarina dona un salt a l'aire per a realitzar un *split* (obertura de cames). Les cames es llancen a  $90^\circ$  fins aconseguir l'horitzontalitat sincronitzada, mentre el cos manté la verticalitat. El *grand jeté* és precedit sempre per un moviment preliminar com *pas de bourrée* (progressió de petits passos amb

els peus que es tanquen junts), un *glissade* (pas de transició) o un *coupé* (canvi ràpid d'una cama a l'altra que serveix com impuls per a saltar) i pot ser realitzat en totes direccions.

<https://youtu.be/dokKdPiT2vQ>

Vídeo 13. Grand jeté

### 3.1.1. Execució

En la mecànica clàssica, el moviment d'un cos està determinat per la suma de forces actuant sobre ell. En el cas d'un salt, una vegada que el cos abandona el terra (ambdues cames estan a l'aire) la trajectòria del cos està determinada per les condicions inicials del salt (velocitat i direcció) i l'única força que actua sobre el cos és la gravetat. En aquest cas, el cos descriu un moviment parabòlic o de projectil. Recordem que aquest és una combinació de dos moviments (un de vertical i un altre d'horitzontal).

Quan una ballarina realitza un salt vertical acoblat a un moviment horitzontal, no hi ha res més que pugui fer per canviar la seva trajectòria en el moment en què el cos perd contacte amb el terra. No obstant, existeixen certes il·lusions de moviment que pot usar al seu favor i que s'aconsegueixen canviant la configuració del cos en l'aire.

Una de les il·lusions més interessants permet generar la fantasia de què la ballarina, en certa forma, vola. Lluny de seguir la trajectòria curvilínia esperada, sembla desafiar la gravetat volant horitzontalment a prop de l'alçada màxima del salt, abans de fer el descens. Llavors, encara que la trajectòria del centre de gravetat estigui definida per les condicions inicials del salt, la seva posició relativa al cos pot canviar si la ballarina puja o baixa els braços i les cames.

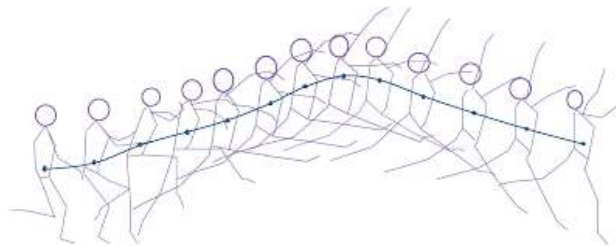


Figura 34. Kinograma que mostra la ruta òptima del centre de massa

Inicialment, el centre de gravetat es troba a la zona abdominal (a prop del melic) si els braços i les cames es troben estesos cap avall. Durant el salt, el centre de gravetat es mou en una trajectòria corba ben definida. Quan els braços i les cames s'aixequen, el centre de gravetat també ho fa. D'aquesta manera, és possible aixecar el centre per damunt del màxim

## El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano

establert a l'inici del salt. Si se sincronitza correctament, aquesta elevació del centre de gravetat succeeix en el moment en què hauria d'estar baixant, fent que el cos es mogui horitzontalment (en lloc de fer el descens). Com l'ull de l'observador tendeix a posar-se sobre el cos i el cap de la ballarina, es crea la il·lusió de què la persona vola.

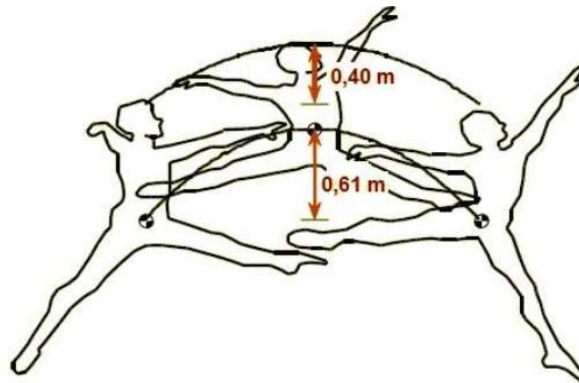


Figura 35. Trajectòria del cap i el centre de massa en fer el grand jeté.

Per poder saltar hem d'exercir una força vertical cap avall (contra el terra) més gran que el nostre pes, durant el temps suficient per aconseguir la velocitat vertical necessària. Si la força aplicada al terra és igual al nostre pes, el terra respon amb la mateixa força i el cos no s'aixeca. Quant més gran sigui l'alçada desitjada, més temps de preparació i esforç requerirà el salt. Els peus poden aplicar petites quantitats de força ràpidament, el que permetrà donar petits salts; però els de major elevació requeriran la flexió dels genolls, el que ens permet aplicar una força vertical de major intensitat i durant més temps.

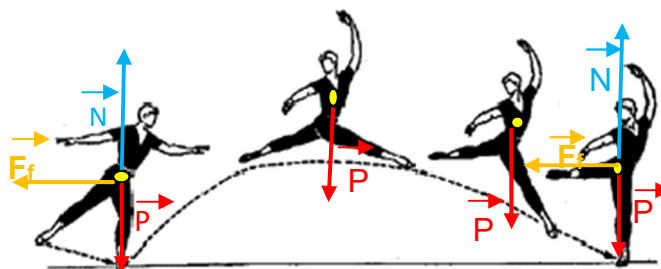
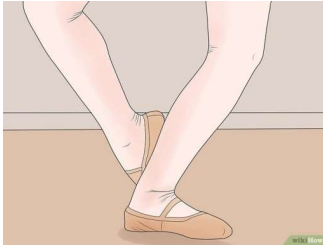


Figura 36: Grand jeté amb les forces que actuen en cada fase

Expliquem pas a pas com es fa un *grand jeté*:



1. La ballarina prepara les cames per fer el salt *split* dret. Això significa que s'està recolzant en la cama dreta, amb la planta del peu contra el terra i el dit gros apuntant cap enfora. La cama esquerra està estesa cap al davant, recta, amb el dit gros tocant el terra.



2. La ballarina dóna un pas cap al davant. Canvia el pes a la cama esquerra mantenint el genoll flexionat cap enfora, essencialment formant un *plié*, mentre llisca el seu peu dret pel terra cap al davant.



3. La ballarina aixeca la cama dreta. Col·loca el peu dret en punta en aixecar la cama completament estesa, fent un *glissade*, pas de *bourrée couru* o un *coupé*



4. La ballarina dona un salt. Utilitza la seva cama esquerra per a impulsar-se amb la major força possible del terra. Empeny amb la cama, la punta del peu i fins i tot amb el dit gros per a obtenir la major potència possible.



5. La ballarina estén les cames. Mentre està a l'aire, estira per complet les cames cap al davant i cap endarrere, intentant aconseguir a l'aire aquest *grand jeté*.



6. La ballarina aterra. Baixa el peu que està al davant (en aquest cas, el dret) i aterra amb el genoll flexionat per a absorbir l'impacte. Manté la cama del darrera i els braços estesos cap enfora com ho estaven en el salt.



7. La ballarina acaba. Baixa els braços quan baixa la cama del darrera i la llisca cap al davant per a què apunti cap al davant com ho ha fet al principi.

## 3.1.2. Fases

Tots els salts de ballet, inclòs el *grand jeté*, consten de 4 fases (Kalichova 2011, p. 1363).

La fase 1 o de preparació, serveix com un avançament just abans de la preparació per obtenir la velocitat horitzontal màxima del salt i finalitza al punt més baix de la demostració de la cama de suport.

La fase 2 o d'enlairament, és el moment que comença quan el taló de la cama d'enlairament deixa el terra i s'acaba en el moment just abans que els dits del peu d'aquesta cama d'enlairament abandonin el sòl. Interacció activa amb el recolzament que possibilita accelerar el centre de gravetat del cos.

La fase 3 o de vol, quan, després de l'enlairament, el cos de la ballarina ja no està en contacte amb el terra, de manera que la ballarina es converteix en un projectil. Moviment del cos per inèrcia.

La fase 4, d'amortiment o aterratge, comença en el moment en què la punta del peu de la cama davantera entra en contacte amb el terra, i continua fins que l'impuls s'atura completament.



Fase 1: Preparació

Fase 2: Enlairament

Fase 3: Vol

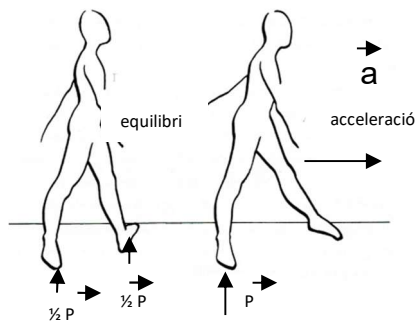
Fase 4: Aterratge

Figura 37: Fases Grand jeté

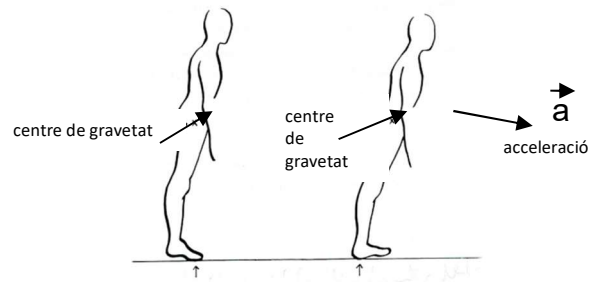
Prenent en consideració aquestes fases, es planteja com a característiques generals, que tots els salts en el ballet comencen i acaben en *demi-plié* (semiflexió de les cames), posició *en dehors* (rotació externa) de les cames a l'aire, on han de mantenir-se esteses i puntejades, i sense l'ús del tronc per a impulsar-se.

### a) FASE 1. Preparació

Durant la fase de preparació, la ballarina ha de canviar d'una posició immòbil a una de moviment horitzontal cap endavant, amb la intenció d'aconseguir la velocitat horitzontal màxima abans de la fase d'enlairament.

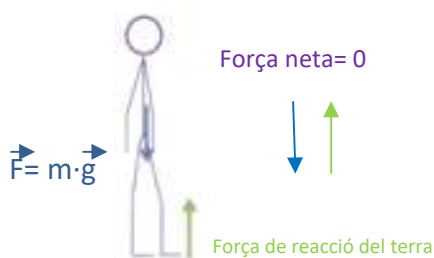


**Figura 38 :** Desplaçament de la ubicació de la força de suport de dos peus a un peu, produint una acceleració horitzontal.



**Figura 39:** Desplaçant el centre de la força de suport, destruint l'equilibri i permetent una acceleració horitzontal.

Per entendre com s'inicia el moviment horitzontal des del descans, ens és útil la revisió de les lleis de Newton. Abans de la fase de preparació, la ballarina està immòbil a causa de la primera llei de Newton: un objecte en repòs romandrà immòbil i un objecte en moviment continuarà en moviment a menys que una altra força actuï sobre ell. Hi ha dues forces que s'exerceixen sobre ella iguals de magnitud però en sentit oposat (la 3a Llei de Newton): la força descendent de la gravetat que actua des del centre de massa i la força de reacció al terra o la força ascendent que prové del sòl, que es tradueix en força zero neta i acceleració zero (figura 40). L'objectiu de la fase de preparació és recollir la màxima velocitat horitzontal possible per entrar a la fase d'enlairament; i, per tant, ha de produir-se una força horitzontal neta en sentit avançat per accelerar el cos en aquest sentit. La magnitud de l'acceleració dependrà de la magnitud de la força que s'exerceix sobre la ballarina (Laws 2002).



**Figura 40:** Força neta, zero

El moviment preparatori comú per al *grand jeté* és la *glissade*, *tombé*, *pas de bourrée*. El moviment inicial, *tombé*, és similar a un retrocés. En aquest moviment, la ballarina exerceix una força endarrerida ràpida contra el terra amb la punta del peu, mentre que el peu s'allarga fora del terra davant de l'altre. La força endarrere exercida pel peu dona com a resultat una força endavant exercida pel sòl sobre el cos i, per tant, es tradueix en un

## El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano

desplaçament cap endavant del centre de massa de la ballarina, creant una acceleració horitzontal cap endavant (Laws 2002). La quantitat de força aplicada al sòl determinarà l'altura màxima del salt de la ballarina perquè la força aplicada al terra per la ballarina és igual a la força aplicada pel terra a la ballarina (Tercera llei de Newton).

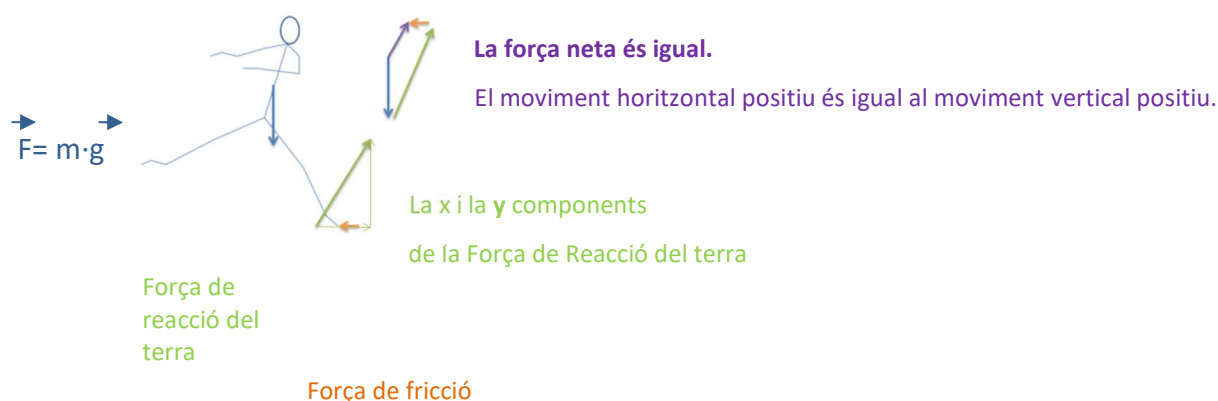


Figura 41: Força més desplaçament

Per tal d'aconseguir la màxima força d'avanç des del sòl, la ballarina té l'objectiu de moure la cama de suport de cada pas amb una velocitat més gran respecte al moviment cap endavant del cos. En la fase de preparació és essencial la fluïdesa que es produeix entre cada pas. Si la ballarina pot mantenir un moviment continu entre cada pas, sense fer una pausa ni un moment, es pot aconseguir una velocitat horitzontal màxima que és fonamental per crear el gran desplaçament horitzontal associat al *grand jeté*. A la vegada, aquesta velocitat ajudarà a permetre a la ballarina a superar la inèrcia per tal d'executar amb èxit el salt just abans d'enlairar-se.

A més, la fricció té un efecte considerable sobre l'acceleració horitzontal obtinguda durant la preparació per al salt. A causa del moviment preparatori del *grand jeté*, que inclou moviments petits i ràpids dels peus, és fonamental que la superfície del sòl no sigui massa rrelliscosa, cosa que posaria en perill la ballarina, però també té prou fregament que continuarà proporcionant la força necessària per impulsar-la cap endavant. Així, el tipus de terra on es realitza el salt com el tipus de sabates que es duen, juguen un paper important en la quantitat d'acceleració horitzontal que pot obtenir el salt de la ballarina.

### Preparació tardana:

A més de la velocitat horitzontal necessària per tal de maximitzar el desplaçament horitzontal al *grand jeté*, també és essencial la velocitat vertical, que es traduirà en donar l'alçada de salt i, per tant, més temps per volar en l'aire. Aleshores, la ballarina ha de sacrificar una mica la seva velocitat horitzontal per obtenir velocitat vertical per tal de disposar del temps suficient a l'aire per portar les cames a la seva extensió al punt més alt del salt. Per fer-ho, haurà de passar d'empènyer cap a terra (tal com ho ha fet per tal d'accelerar cap endavant i obtenir velocitat horitzontal) a exercir una empenta a terra just abans d'enlairar-se. En aquest moment, hi ha dues forces principals que actuen sobre la gravetat de la ballarina, una que actua verticalment cap avall des del centre de massa del cos i l'altra, la força de reacció terrestre que actua verticalment cap amunt sobre el cos. Així, per obtenir efectivament la velocitat vertical anterior al moment de l'enlairament, la ballarina ha d'exercir una força descendent al sòl que supera el pes del cos. Això es fa assumint una posició de *plié* amb la cama d'enlairament després de la preparació, en què la cama està doblegada i el taló està en contacte amb el terra.

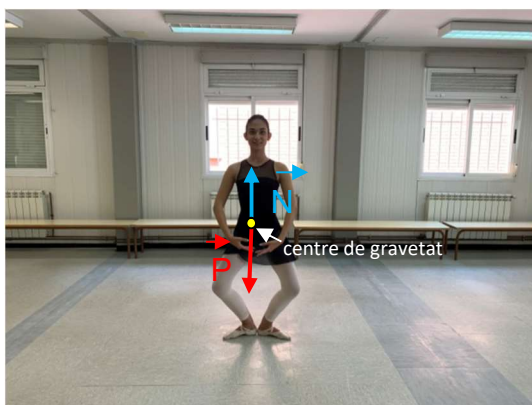


Figura 42: Forces fent el plié (preparació)



Tant la profunditat del *plié*, com la quantitat de temps que triga la ballarina a passar del punt més profund del *plié* a l'extensió completa del maluc, del genoll i del turmell, definida per la velocitat angular de la cama de l'impuls, tindrà un efecte sobre la quantitat de velocitat que es genera en el moment de l'enlairament. La profunditat del *plié* és crucial per crear una gran velocitat d'enlairament a causa de la relació impuls i moment. En augmentar la quantitat de *plié* assumida abans d'enlairar-se, augmenta el rang de moviment de maluc, genoll i turmell. Posteriorment, la quantitat de temps per a l'aplicació de la força augmenta,

# El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano

provocant un canvi més gran en el moment, el que es tradueix en un impuls més gran. Un *demi-plié* excessivament profund, tot i que permet la màxima quantitat de temps, contrarestarà la velocitat horitzontal obtinguda a la preparació inicial i, per tant, pot veure's afectat el desplaçament horitzontal del salt. Pel contrari, un *plié* excessivament superficial no permetrà el temps suficient per aplicar la força, i la velocitat vertical es veurà afectada. Se suggereix que la ballarina situï la cama d'enlairament en un *demi-plié* de profunditat moderada per tal d'estar en una bona posició per produir la força adequada. (Kalichova 2011, 1363-1367).

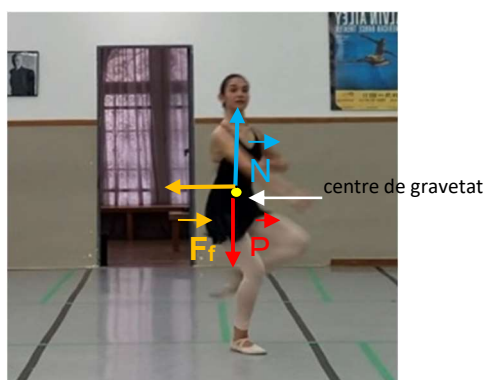
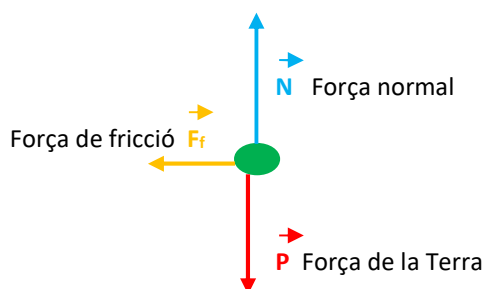


Figura 43: Forces en fer la fase de preparació tardana.



Figura 44: Angles en la fase de preparació tardana.



La ballarina aplica força a terra i la Terra aplica una força igual a la ballarina. Accelerant a l'aire, la fricció està present entre el peu de la ballarina i el terra.

Força neta a l'eix  $y = \text{Força normal} - \text{Força Terra}$

En aquest moment el centre de gravetat, quan la ballarina està a punt de sortir per primera vegada del terra, és a la zona abdominal, quan les cames i els braços són força baixos.

### b) FASE 2. Enlairament



Figura 45: Forces en la fase de l'enlairament

Una vegada que el cos perd el contacte amb el sòl, el centre de gravetat seguirà una trajectòria parabòlica - un arc- que està totalment determinada per les condicions de moviment a l'inici de la trajectòria (la paràbola és la forma particular del recorregut corbat a l'espai). És en aquest moment que la ballarina no pot fer res per canviar la trajectòria del centre de gravetat fins que no es restableixi el contacte amb el terra.

Quan el centre de gravetat s'ha elevat parcialment a través del seu camí corbat a través de l'espai, els braços

i les cames s'aixequen, cosa que provoca que el centre de gravetat es mogui cap amunt al cos, potser cap a l'estómac o per sobre.

Un cop aconseguit l'impuls horitzontal necessari en la fase de preparació primerenca, que després es transfereix parcialment en impuls vertical a la fase de preparació tardana del salt, la ballarina continua generant més velocitat d'enlairament per l'acció combinada de la cama posterior; com el gir dels braços de vertical cap a horitzontal, per ajudar a crear un impuls efectiu per a l'enlairament. En enlairar-se, l'empenta del maluc que experimenta la cama oscil·lant hauria d'arribar a un angle de  $90^\circ$  en relació amb la cama de suport (Buckman et al., 1977-1978). La velocitat angular màxima assolida per la cama oscil·lant en enlairar influirà en la magnitud de la velocitat d'enlairament, així com en la velocitat lineal del turmell.

La velocitat de la ballarina en enlairar-se és el resultat final de la velocitat obtinguda en els passos preparatoris i de l'oscil·lació combinada de les cames i braços posteriors just abans d'enlairar-se, així com de la ràpida extensió de maluc, genoll i turmell de la noia. Tanmateix, un altre factor, l'altura d'enlairament, determinat per l'angle d'enlairament, afectarà el traçat de la trajectòria seguit per la ballarina un cop que el peu surt del terra i es converteix en un projectil. L'angle d'enlairament determina la distribució de les velocitats horitzontals i verticals. Normalment, l'angle òptim d'enlairament per recórrer grans distàncies s'accepta a  $45^\circ$ , ja que es transfereix a crear una velocitat horitzontal i vertical igual. Tot i això, l'angle òptim d'enlairament per al *grand jeté* és d'entre  $28^\circ$  i  $30^\circ$ . Aquest angle ajudarà a crear un

salt més planer i llarg, cosa que resulta estèticament més agradable, alhora que permetrà un temps adequat en l'aire per volar (Kalichova 2011, p. 1363-1367).



**Figura 46:** Angles executats per la ballarina en la fase d'enlairament el mes de novembre

### c) FASE 3. Vol



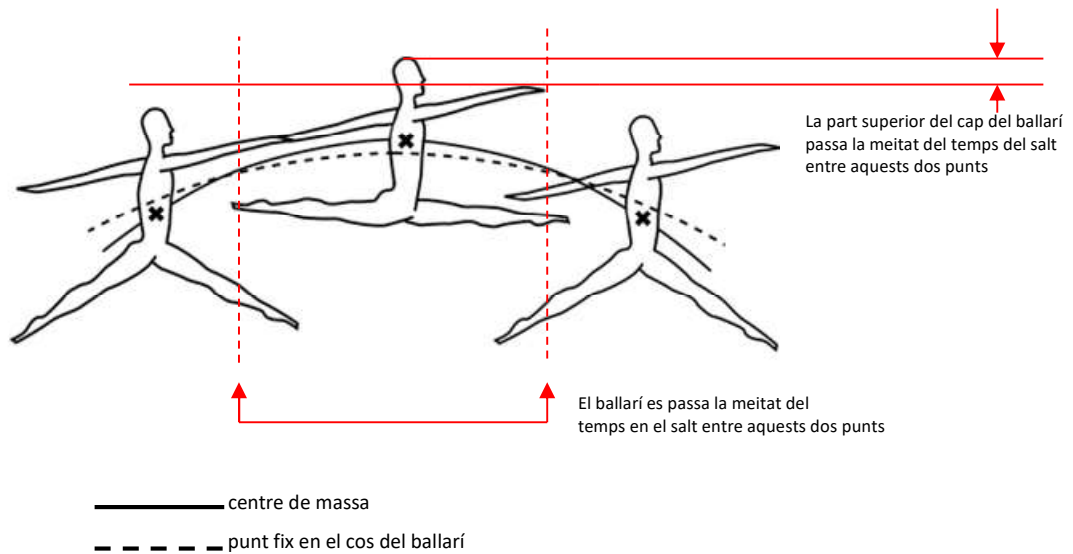
**Figura 47:** Forces en la fase de vol

Després de l'enlairament, el cos de la ballarina ja no està en contacte amb el terra, per tant, la ballarina es converteix en un projectil. El centre de gravetat continuarà elevant-se fins al pic del recorregut corbat. Seguirà una trajectòria parabòlica que depèn completament dels factors comentats en els apartats anteriors. Un cop la ballarina estigui a l'aire, el component horitzontal de la velocitat es mantindrà constant; no obstant

això, el component vertical canviarà a causa de la força descendent de la gravetat que actua a través del centre de massa.

La força de la gravetat farà que la velocitat de la ballarina disminueixi a mesura que el salt s'apropa a l'alçada màxima, moment en què la velocitat serà zero, i la ballarina s'accelerarà en la direcció negativa cap al terra. Tant la magnitud de la desacceleració per assolir l'altura màxima com l'acceleració cap a l'aterratge, seran iguals pel fet que la gravetat sempre accelera el cos al mateix ritme, creant així la trajectòria parabòlica (Laws, 2002).

Tot i que el recorregut de la trajectòria per on circula el centre de massa una vegada que la ballarina és a l'aire no es pot canviar, la configuració del centre de massa respecte al cos es pot manipular. Aquesta tècnica pot ajudar a crear la il·lusió de volar necessària per realitzar un Grand jeté (Laws, 2002). Segons Laws (2002), al començament del vol, quan les extremitats superiors i inferiors són baixes, el centre de gravetat es troba a l'abdomen. El centre de gravetat pot continuar ascendint cap al cos, mentre que les extremitats superiors i inferiors continuen aixecant-se a mesura que el cos s'acosta a la part superior de la trajectòria (figura 48).



**Figura 48:** Centre de gravetat durant el salt

Alçant les cames fins a una divisió, preferiblement de  $180^\circ$ , i alçant els braços a sobre en el moment exacte en què el centre de gravetat del cos arriba al punt més alt de la trajectòria, el tors i el cap romandran en moviment horitzontal fins i tot com a centre de gravetat. Com que els espectadors solen seguir el cap i el tors quan observen un *grand jeté*, es crea la il·lusió que la ballarina vola horitzontalment durant el salt. Per tant, sincronitzar l'angle més elevat del braç i l'altura màxima del centre de gravetat és crucial per crear l'aspecte més elegant i fluid del moviment horitzontal en vol. Si es pot aconseguir aquesta sincronització, és possible que el cap i el tors es puguin moure horitzontalment més de la meitat del temps de vol, fins i tot quan el centre de gravetat cau a través de la seva trajectòria parabòlica (Laws, 2002).

Valors típics per a un salt d'aquest tipus són 2m d'abast horitzontal, 55cm per al desplaçament vertical màxim i 0.7s de temps de vol. Usant les equacions de cinemàtica, és possible calcular que el cos passarà la meitat del temps de vol en la porció del salt que

# El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano

correspon als 14cm pròxims a l'altura màxima (aproximadament la quarta part de l'altura màxima).

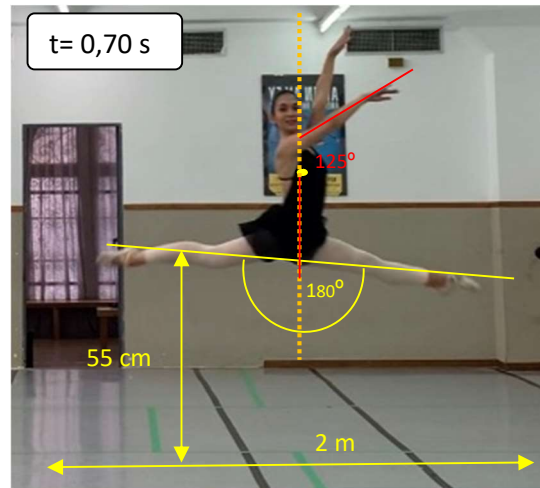


Figura 49: Valors típics d'un Grand jeté

Alguns factors que afecten un *grand jeté* és la massa de la ballarina, que té una relació directa amb la força gravitatòria exercida cap avall sobre ella i una repercussió en l'impuls del salt.

Recordem que la força de la terra sobre un objecte és:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ (a causa de la gravetat (9,8 m/s}^2\text{))}$$

i el moment

$$\vec{M} = m \cdot \vec{v}$$

El temps en què una ballarina passarà a l'aire depèn únicament de la velocitat ascendent inicial d'ella i de l'angle en el que salta.

A continuació es mostra el gràfic del salt. El gràfic representa la distància vertical d'una ballarina a mesura que aplica la força al terra, el sòl exerceix una força igual (tercera llei de Newton) i la força de la gravetat actua sobre ella mentre està a l'aire.

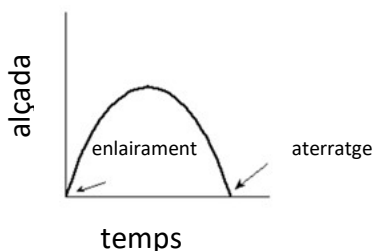


Figura 50 : Distància vertical de la ballarina

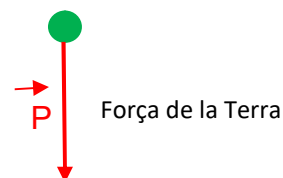
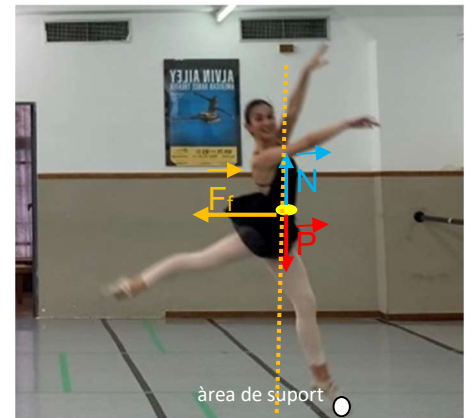


Figura 51: La força de la gravetat és l'única força que permet que la ballarina continuï movent-se.

Força neta a l'eix  $y$  = Força Terra = - 9,8 m/s<sup>2</sup>

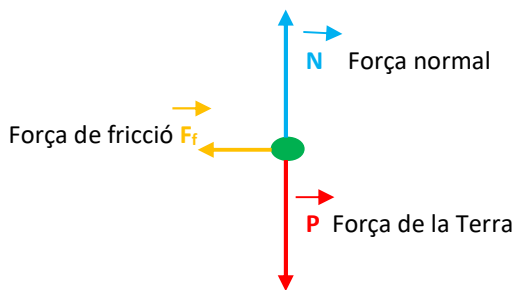
**d) FASE 4. Aterratge**

L'última fase del *Grand jeté* és l'aterratge, a partir del moment en què la cama de la ballarina arriba al contacte amb el terra. En l'aterratge, el cos és empès cap avall per l'impuls, que és important per a ser controlat per la contracció excèntrica dels músculs. L'element horitzontal de les forces fictícies que afecten el centre de gravetat transfereix l'eix del centre de gravetat als marges de l'àrea de contacte amb el sòl, que és relativament petita a l'inici de l'aterratge. En aquest cas, el cos comença a descendir a causa de la força de gravetat.



**Figura 52:** Forces en la fase de l'aterratge

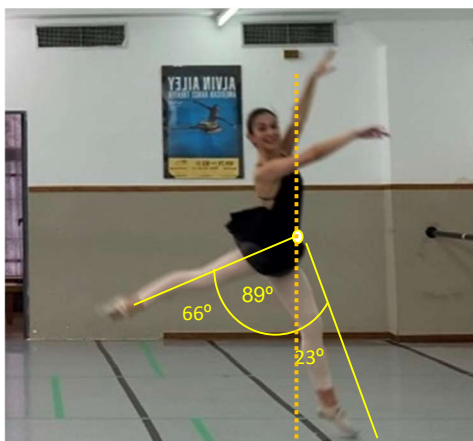
Per a detenir el descens, la ballarina ha d'aterrar sobre una cama, moderadament estirada cap al davant, de manera que les forces es creuin amb el centre de gravetat i sense que aparegui el moment de força, per tal de permetre que el cos arribi al sòl en una posició estable i mantingui l'equilibri. El centre de gravetat acabarà el recorregut corbat de la trajectòria tornant al punt de partida, a prop de l'abdomen.



A mesura que la ballarina torna a terra, la força que està aplicant a terra és igual a la força de la Terra sobre la ballarina. Una vegada més, la fricció actua als peus de la ballarina. Aquestes forces són les que fan que la ballarina deixi de moure's i es mantingui en repòs.

$$\text{Força neta a l'eix } y = \text{Força normal} - \text{Força Terra} = 0$$

$$\text{Força neta en la fricció } x = \text{Força de fricció}$$



**Figura 53:** Angles de les cames en l'aterratge

Segons Tarasov, la cama d'aterratge s'hauria d'estirar cap endavant a un angle de 45° des de la línia vertical, mentre que la cama final s'hauria d'estirar cap a enrere en un angle de 90°, respecte a la cama del davant. (Kalichova 2011, 1363-1367).

L'essencial per a l'aterratge és la capacitat de la ballarina per controlar eficaçment l'impuls per tal de reduir les forces d'impacte de la reacció a terra, fent-les menys propenses a lesions.

## 4. PART PRÀCTICA

### 4.1. Comparativa salt juliol vs novembre

#### 4.1.1. Vídeo resum dels salts

Un cop acabada la presentació física del *Grand jeté*, drem a terme l'evolució comparativa des del primer vídeo que vaig enregistrar el 12 de juliol del 2020 fins l'últim, del 4 de novembre de 2020, per adonar-nos que, si som conscients que la física està present en la dansa i recordem tots els conceptes d'aquesta disciplina: el punt de suport, la força de la gravetat, el centre de gravetat, les forces normals, la força de fricció, l'equilibri, l'acceleració, la velocitat, el moment angular, el moviment rotacional, l'impuls, entre molts d'altres, podem millorar la nostra tècnica del clàssic.

La comparació la farem analitzant els 4 instants més importants d'un *Grand jeté* que coincideixen amb les fases explicades anteriorment: fase preparació, enlairament, vol i aterratge.

Veiem que entre els errors més comuns que es cometen en realitzar aquest salt es troben els següents:

- *Demi-plié* massa profund.
- Elevació menor de 45° de la cama al davant.
- Insuficient alçada.
- Poca amplitud per al canvi de cames a l'aire.
- Tronc inclinat al davant, no erigit.

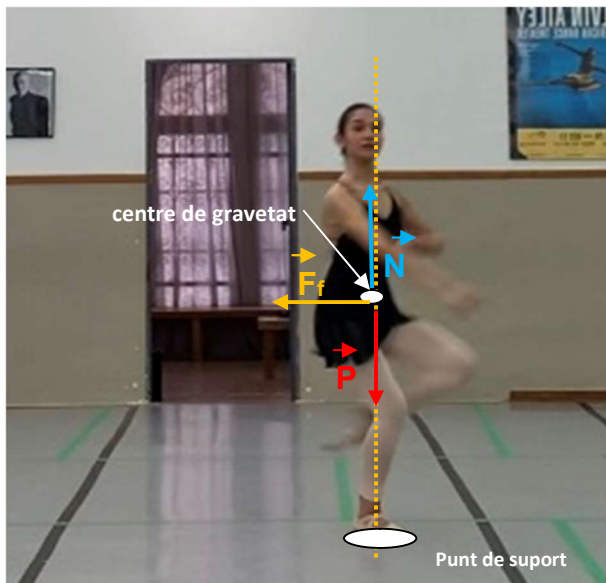
Analitzem-ho detingudament. Primer faré una anàlisi de les forces tenint en compte l'eix del cos i el centre de gravetat. Seguidament, ho analitzaré des del punt de vista dels angles.

<https://youtu.be/c2GXaSqjAJM>

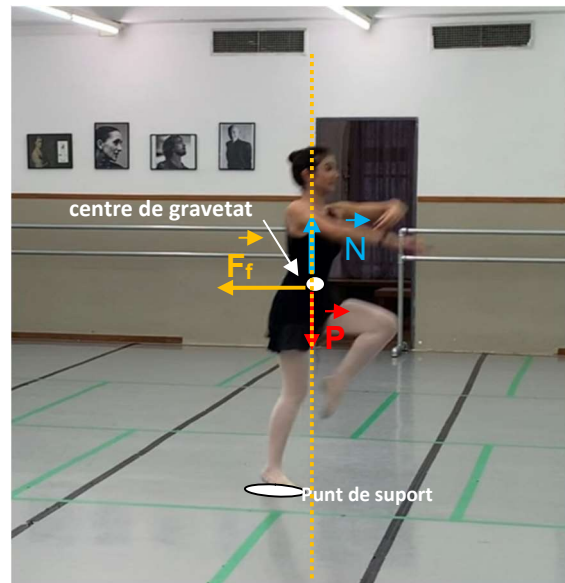
**Vídeo 14:** Evolució comparativa de diferents salts Grand jeté (període juliol - novembre)

#### 4.1.2. Fase de preparació

##### Forces:



Juliol 2020



Novembre 2020

Durant la fase de preparació canvio d'una posició immòbil a una de moviment horitzontal cap endavant, amb la intenció d'aconseguir la velocitat horitzontal màxima abans de la fase d'enlairament, destruint l'equilibri i permetent una acceleració horitzontal.

Produeixo una força horitzontal neta en sentit avançat per accelerar el cos en aquest sentit.

En aquesta fase, el centre de gravetat quan estic a punt de sortir per primera vegada del terra és a la zona abdominal, quan les cames i els braços són força baixos. Del juliol al novembre veiem que el centre de gravetat es troba situat més endavant respecte a l'eix del cos, per la qual cosa puc exercir més força aconseguint tenir més impuls a l'hora de dur a terme l'enlairament.

Tant al juliol com al novembre aplico força a terra i la Terra m'aplica una força igual a mi; però, al novembre l'exerceixo superant el pes del meu cos, permetent-me iniciar la trajectòria parabòlica del grand jeté; per la qual cosa, el salt, en un principi, està predisposat a ser bo.

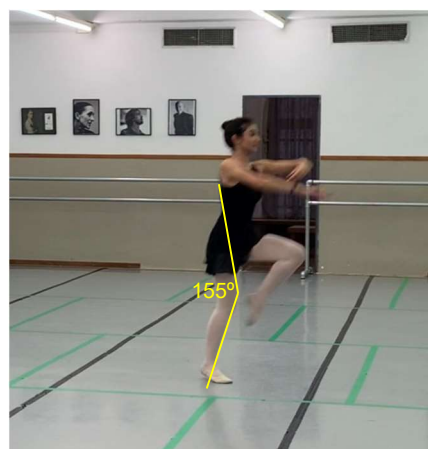
# El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano

## Angles:



Juliol 2020

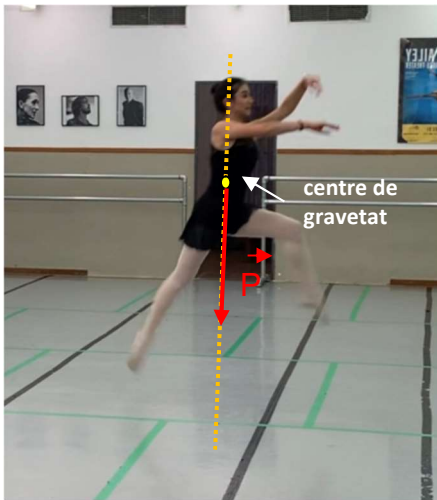


Novembre 2020

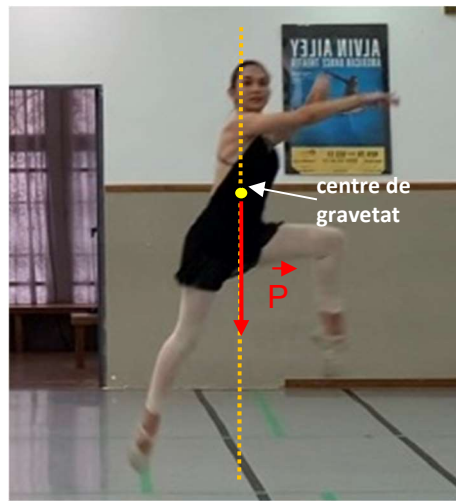
La profunditat del *plié* és crucial per crear una gran velocitat d'enlairament a causa de la relació impuls i moment. A l'augmentar la quantitat de *plié* assumida abans d'enlairar-me, augmenta el rang de moviment de maluc, genoll i turmell. Posteriorment, la quantitat de temps per a l'aplicació de la força augmenta, provocant un canvi més gran en el moment, el que es tradueix en un impuls més gran. Un *demi-plié* excessivament profund (el realitzat al Juliol del 2020), tot i que permet la màxima quantitat de temps, contrarestarà la velocitat horitzontal obtinguda a la preparació inicial i, per tant, es veu afectat el desplaçament horitzontal del salt. Pel contrari, un *plié* excessivament superficial no permetrà el temps suficient per aplicar la força, i la velocitat vertical es veurà afectada. Per tal d'estar en una bona posició per produir la força adequada, he de situar la cama d'enlairament en un *demi-plié* de profunditat moderat (com mostra en el *grand jeté* del novembre del 2020). La desviació cap a un angle més alt ha augmentat la capacitat de generar desplaçament horitzontal.

### 4.1.3. Fase d'enlairament

#### Forces:



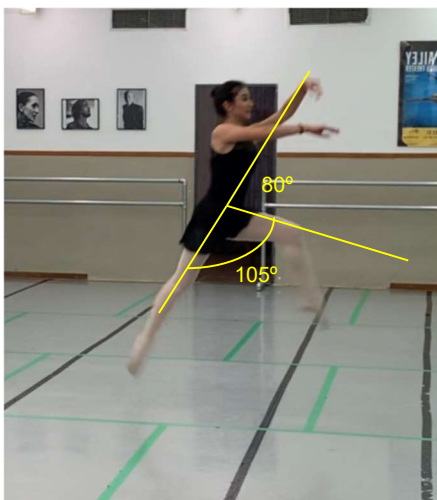
Juliol 2020



Novembre 2020

Una vegada que el cos perd el contacte amb el sòl, el centre de gravetat segueix la trajectòria parabòlica que està totalment determinada per les condicions de moviment a l'inici de la trajectòria. Al juliol l'ascens del centre de gravetat no està tan aconseguit com en el Grand jeté del novembre. Els braços i les cames estan més aixecats al novembre, per la qual cosa el centre de gravetat el trobem una miqueta més amunt que al juliol. A la vegada que, el gir dels braços del novembre ajudaran a crear un impuls més efectiu per a l'enlairament.

#### Angles:



Juliol 2020



Novembre 2020

# El Grand Jeté i Newton, una bona parella de ball?

Berta Llauradó Moyano

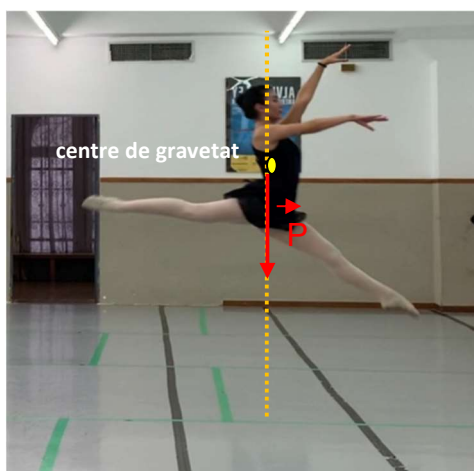
La posició angular del maluc de la cama oscil·lant en enlairar-me hauria d'arribar, com a mínim, a  $90^\circ$  (mínim que demana un *grand jeté* correcte). Al juliol, vaig obtenir  $105^\circ$  de flexió de maluc en enlairar-me i, per tant, estic dins el mínim que demana aquest salt. Al novembre he baixat tres graus, arribant als  $102^\circ$ , continuant estant dins dels mínims del *grand jeté*.

L'altura d'enlairament ve determinat per l'angle d'enlairament i afecta el traçat de la trajectòria que he seguit un cop que el peu em surt del terra i es converteix en un projectil. L'angle d'enlairament determina la distribució de les velocitats horitzontals i verticals. Normalment, l'angle òptim d'enlairament per recórrer grans distàncies s'accepta a  $45^\circ$ , ja que es transfereix a crear una velocitat horitzontal i vertical igual. Tot i això, l'angle òptim d'enlairament per al *grand jeté* és d'entre  $28^\circ$  i  $30^\circ$ . Aquest angle ajuda a crear un salt més planer i llarg, cosa que resulta estèticament més agradable, alhora que permetrà un temps adequat en l'aire per volar (Kalichova 2011, p. 1363-1367).

En aquest cas, del juliol al novembre veiem que l'angle ha disminuït: de  $80^\circ$ , és a dir, massa perpendicular cap amunt, passo a  $65^\circ$ , amb el que aquesta millora m'ajuda a aconseguir estar una miqueta més de temps en l'aire mentre estic fent el *grand jeté*, i que aquest sigui molt més majestuós.

## 4.1.4. Fase de vol

### Forces:



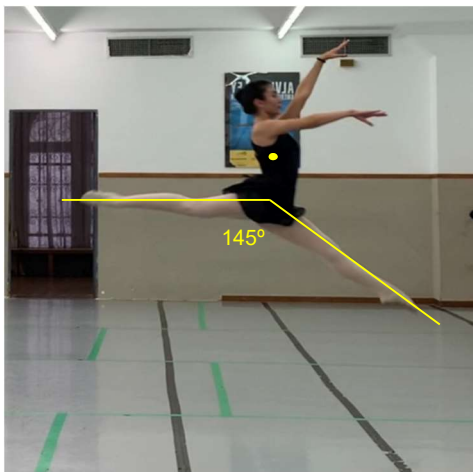
Juliol 2020



Novembre 2020

El centre de gravetat s'ha elevat fins al pic del recorregut corbat. Al juliol, a causa d'un mal inici de la col·locació de tots els factors comentats anteriorment, el component vertical està afectat per la força descendent de la gravetat que actua a través del centre de massa. Aquest sobrepassa l'eix central, per la qual cosa ja s'està fent la desacceleració cap a l'aterratge. El vol, al juliol ha estat molt curt. Els braços, a la vegada, no han aconseguit l'alçada suficient cosa que fa que el centre de gravetat sigui també baix. En canvi, al novembre, he aconseguit mantenir el centre de massa alineat a l'eix del cos. A la vegada, la posició dels braços i del cap aconsegueixen l'efecte majestuós del grand jeté.

### Angles:



Juliol 2020

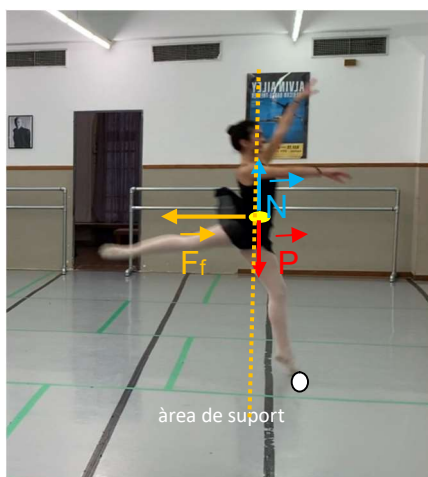


Novembre 2020

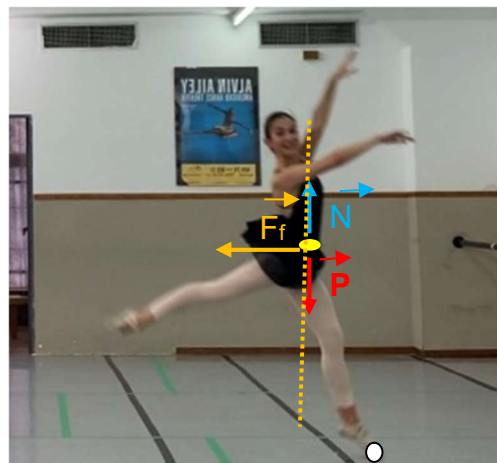
Durant el vol, l'angle òptim aconseguit entre la propagació de les extremitats inferiors és de  $180^\circ$  (Laws, 2002). Tot i això, assolir un angle d'aquesta magnitud és tremendament difícil i requereix una quantitat extrema de flexibilitat i amplitud de moviment que no he pogut aconseguir. Com veiem, al juliol, presentava un angle de  $145^\circ$  i, per tant, era gairebé  $35^\circ$  inferior a l'angle de  $180^\circ$  que es veuria amb un salt perfectament executat. Essent conscient de totes les correccions que s'havien de fer en aquest salt, en totes les fases citades anteriorment, al novembre, he augmentat aquesta obertura guanyant  $20^\circ$  més i aconseguint així una obertura de  $165^\circ$ .

## 4.1.5. Fase d'aterratge

### Forces:



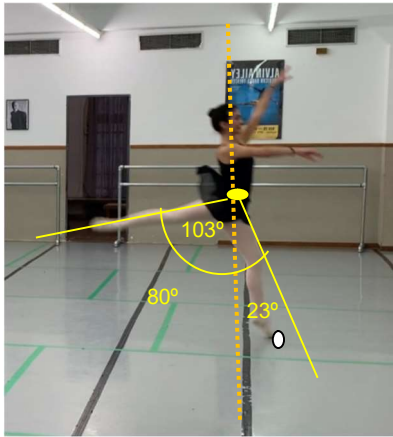
Juliol 2020



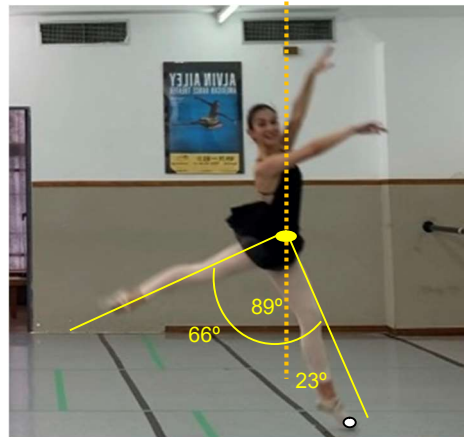
Novembre 2020

En aquesta fase el cos comença a descendir a causa de la força de gravetat. He d'aterrar sobre una cama, moderadament estirada cap al davant, de manera que les forces fictícies es creuin amb el centre de gravetat i sense que aparegui el moment de força, per tal de permetre que el cos arribi al sòl en una posició estable i mantingui l'equilibri. El centre de gravetat acabarà el recorregut corbat de la trajectòria tornant al punt de partida, a prop de l'abdomen.

El més important de la fase d'aterratge és guanyar l'equilibri el més ràpid possible i mantenir-lo. Tant al juliol com al novembre, vaig ser capaç d'aconseguir un aterratge equilibrat; no obstant això, s'hauria produït un aterratge més estètic, important per a la realització d'un salt tècnicament sòlid, si les extremitats inferiors estiguessin inclinades en la posició òptima. Al juliol, però, el centre de gravetat va per davant de l'eix del cos, per la qual cosa, en no quedar alineat, l'aterratge va ser una mica forçat; cosa que no va passar al novembre, que en anar més equilibrada perquè el centre de massa anava d'acord amb l'eix, l'aterratge va donar un final del salt grand jeté força correcte.

**Angles:**

Juliol 2020



Novembre 2020

Després de completar la fase de vol, l'aterratge òptim és aquell en què la cama d'aterratge s'estira cap endavant amb un angle de  $45^\circ$  i la cama posterior s'estira cap enrere per sobre del terra amb un angle de  $90^\circ$  respecte a la cama del davant (Kalichova 2011). La meua cama d'aterratge, al salt del mes de juliol, va arribar a un angle de  $23^\circ$  i la cama cap enrere a un angle de  $80^\circ$  en el moment de l'aterratge, de manera que el meu rang de moviment a través de les extremitats inferiors és considerablement inferior a l'òptim. En el salt del novembre milloro els resultats, mantinc els  $23^\circ$  de la cama del davant; i passo de  $80^\circ$  a  $66^\circ$  en la cama del darrera, respecte de l'eix, aconseguint un angle de  $89^\circ$ , molt a prop dels  $90^\circ$  que demana el *grand jeté*.

**4.2. Què en pensen els experts?**

Per corroborar la hipòtesi del treball de recerca hem buscat la col·laboració de dos experts, una professional de dansa, la Lourdes Gómez, i un professor d'educació secundària especialitzat en física i química, en Lluís García. Aquestes són les seves opinions.

**4.2.1. Entrevista a Lourdes Gómez. Ballarina professional.**

Nom: **LOURDES GÓMEZ**

Professió: **Professora de Dansa del Centre de Lectura. Ex-ballarina del Cos de Dansa de Cuba**

1. *Quins lligams tens amb la dansa?*

Soc professional de la dansa.

2. *Quant de temps fa que et dediques a la dansa?*

42 anys més els 7 anys d'estudis professionals.

3. *Què sents quan balles? Què t'inspira quan balles?*

Ballar és viure, gaudir, transportar-te a un món d'energia i de vida.

4. *Tens algun lligam amb la física? Quin?*

No, solament la que estableix i relaciona la dansa amb la física.

5. *Creus que la física està relacionada amb qualsevol acció, fet, objecte,... que ens envolta?*

Si, està relacionada amb moltes de les accions de la dansa. A vegades les coneixem, a vegades, no.

6. *Què tenen en comú aquestes dues grans disciplines, aquests dos grans sabers, la dansa i la física?*

Que es complementen en moltes ocasions, però no sempre es relacionen conscientment en explicar o executar una frase de moviments.

7. *Quan balles, saps quin concepte de física apliques? En què et bases?*

Si, en l'anàlisi de l'experiència adquirida per mitjà de la pràctica dansaire, i en buscar el per què s'aconsegueixen o no els moviments correctes.

8. *Creus que si un ballari/ballarina aplica aquests conceptes físics pot arribar a millorar la seva tècnica?*

Penso que si, sempre que estigui dirigit i guiat pel seu professor/a.

9. *Amb el repertori de dispositius que té avui la ciència per mesurar la distància dels moviments durant el ball o per conèixer la col·locació del cos,... es pot afirmar que la ciència ha enriquit la disciplina de la dansa?*

Considero que si. Un exemple és la tècnica pilates.

#### 4.2.2. Entrevista a Lluís García. Professor de Física i Química.

Nom: **LLUÍS GARCÍA**

Professió: **Professor d'Institut de Física i Química**

1. *Quins lligams tens amb la física?*

Soc professor de Física i Química d'un Institut

2. *Creus que la física està relacionada amb qualsevol acció, fet, objecte,... que ens envolta?*

Per suposat, sense Física no podríem ni existir ni, evidentment, moure'ns, menjar, viure, parlar, etc...

3. *Tens algun lligam amb la dansa?*

Jo no he fet mai dansa. La meva dona, la meva ex-dona i la meva filla n'han fet durant molts anys. Jo n'he vist alguns festivals del Centre de Lectura.

4. *Quan veus ballar, què sents, què t'inspira?*

Admiro la rapidesa, coordinació, energia, equilibri i seguretat que mostren les persones que ballen, sobretot si ho saben fer bé. M'és difícil dir què sento o què m'inspira. Potser sento admiració i potser m'inspira confiança en el fet que si es treballa es poden aconseguir grans coses.

5. *Què tenen en comú aquestes dues grans disciplines, aquests dos grans sabers, la dansa i la física?*

Estudien la bellesa de les forces i el moviment des de punts de vista diferents. La Física, més teòric i analític; i la Dansa, més pràctic i corporal. Ben mirat, són una molt bona combinació.

6. *Quan veus ballar, hi identifiques conceptes físics? En què et bases?*

En ocasions sí que em venen al cap coses com el centre de gravetat o el moment angular. Però normalment, no, intento no pensar i deixar-me sentir què em provoca el que veig.

7. *Creus que si un ballarí/ballarina aplica aquests conceptes físics pot arribar a millorar la seva tècnica?*

No ho sé, no soc ballarí i tinc la idea sobre mi que no en sé gaire de ballar. Però practicant altres esports, com arts marcial, me n'adono que si entenc els moviments que faig des d'un

punt de vista físic, els puc integrar millor després en la pràctica. A mi em va bé entendre el què faig, però no sé si a tothom també, siguin ballarins/es o no ballarins/es. Suposo que dependrà del caràcter i de l'interès de cada persona.

*8. Amb el repertori de dispositius que té avui la ciència per mesurar la distància dels moviments durant el ball o per conèixer la col·locació del cos,... es pot afirmar que la ciència ha enriquit la disciplina de la dansa?*

A l'igual que a la pregunta anterior, no ho conec en el tema del ball. Però per similitud amb altres esports/arts, em sembla que si ho ha enriquit, perquè aporta més informació als practicants dels esports. Ara bé, per molt que se sàpiga alguna cosa intel·lectualment, si no es passa pel cos, si no es practica i s'integra, dubto que serveixi, i inclús pot dificultar l'aprenentatge. Com en tot, suposo, les eines s'han d'utilitzar en la justa mesura.

### **4.2.3. Interpretació de les dades**

Analitzant les entrevistes, ambdós experts estan d'acord en què la física està relacionada amb la dansa, però que no sempre es fa d'una manera conscient. És en l'experiència adquirida per mitjà de la pràctica dansaire que es va adquirint, a la vegada que, gràcies a l'evolució de la ciència, la dansa s'ha vist enriquida (pots mesurar la distància dels moviments, pots conèixer la col·locació del cos,...) perquè si entens els moviments que fas des d'un punt de vista de la física, els pots integrar millor després a la pràctica.

Després els vaig demanar que, a partir del vídeo amb l'evolució de tots els *grands jetés* fets des del juliol fins al novembre, fessin la comparativa, essent aquests els resultats transmesos:

La Lourdes comenta que veu un progrés positiu en l'execució de la tècnica per la realització correcta del pas. En el primer vídeo, simplement, s'executa el pas sense el suficient impuls, elevació i obertura d'ambdues cames, així com la seva translació en l'espai. I el comentari de l'últim vídeo és que he aconseguit el punt màxim de preparació inicial del pas (glissade), execució i resultats, evidenciant que quan es coneixen i utilitzen correctament la coordinació, la força, l'impuls, la propulsió, l'enlairament, l'elevació, la suspensió i l'amortiment en el moment de baixada a terra es pot assolir el moviment que vols fer. Des del punt de vista tècnic, comenta que queden molts detalls per arreglar, específics de la

dansa clàssica. Considera que l'objectiu està aconseguit, en poc temps, però amb una major consciència de l'acció i presència de la física en la dansa.

I el Lluís, a nivell de física, considera que l'angle de vol cada vegada és més gran, amb la qual cosa el centre de gravetat del meu cos puja, cosa que afavoreix el vol. Les altres fases necessita d'un estudi més minuciós per poder ser analitzat. I a nivell artístic, veu la millora i comenta que s'emociona en veure quan faig el *Grand Jeté*.

## 5. CONCLUSIONS

En resum, la dansa és art; tothom pot ballar, perquè neix dels sentiments, del desig d'expressar-se. Però l'art també és travessat per la ciència, com totes les disciplines humanes. I quan la ciència es posa a estudiar la dansa, en realitat el que està fent és estudiar com una ballarina és capaç d'unir-se a la naturalesa per a crear moviments únics.

En aquest treball hem intentat explicar des d'un punt de vista científic alguns dels moviments més comuns que realitzem les ballarines. La meva intenció ha estat brindar les eines per a comprendre com la interacció amb el món permet el moviment, quina és la manera més còmoda de ballar i també quines són les limitacions que cadascú té, com superar-les i trobar d'aquesta manera la pròpia tècnica.

La dansa i la ciència estan aquí per mostrar-nos el món, i així les ballarines puguem viure i gaudir d'aquesta relació.

Després de la realització del Treball de Recerca, que inclou tot el que hem presentat sobre el tema i seguint els objectius marcats en ell, arribem a la conclusió, relacionada amb la hipòtesi inicial del treball, que:

- havent buscat informació referent a la cinemàtica, l'estàtica i la dinàmica;
- havent arribat a la conclusió que aquestes proveeixen les eines necessàries per a analitzar els moviments que fem al ballar;
- havent aplicat els principis bàsics de la física en el *Grand jeté*;
- havent analitzat, detalladament, l'evolució del salt en diferents moments del treball (del juliol, salt inicial, fins al novembre, salt final);
- havent passat dues entrevistes a experts relacionats amb la dansa i amb la física avalant aquesta relació entre aquestes dues disciplines;
- havent fet, aquests experts, un breu resum comparant l'evolució dels diferents *grands jetés*,
- i havent estat jo, conscient a l'hora de ballar d'aplicar tots els conceptes aquí treballats,

queda demostrada la relació entre la dansa i la física, i conseqüentment, la millora dels moviments de la dansa gràcies a la física; per la qual cosa, la hipòtesi presentada a l'inici del Treball de Recerca, on dèiem que:

“Potser amb l’aplicació dels principis bàsics de la física milloraré la tècnica del *Grand jeté*”,

és correcta.

Podem afirmar que aplicant els principis de la física millorem la tècnica de la dansa, i en el nostre cas particular, en la realització del *Grand Jeté*.

Les ballarines som ben conscients dels perills que comporten els grans moviments a l’escenari. Segurament moltes de nosaltres hem experimentat la vergonya d’una caiguda. Quan es reconeixen les forces entre els peus i el terra que són necessàries per dur a terme qualsevol moviment; quan controles les forces necessàries per als salts elevats, sobretot en els aterratges amb més probabilitats de produir lesions; ... és una meravella veure que aquests moviments es fan realitat! El públic i l’art de la dansa estan ben servits per aquests esforços per part de les ballarines.

Per concloure aquest treball voldria afegir que aquest tema de la dansa relacionada amb la física, i essent conscient en la meua execució, m’ha resultat tant fascinant, que ara encara hi trobo un afegit més de motivació quan ballo perquè hi veig una explicació en cada moviment que m’ajuda a cercar la perfecció, si més no, d’intentar-ho i donar-li sentit.



## 6. GLOSSARIS

### 6.1. Glossari de física

**Acceleració:** Magnitud vectorial que ens indica el canvi de velocitat en el temps.

**Cinemàtica:** Part de la mecànica que estudia el moviment, sense tenir en compte les causes que el produeixen.

**Cos:** Objecte físic i material que s'estudia.

**Desplaçament:** Canvi de posició d'un cos en un interval de temps definit.

**Dimensió:** Quan ens referim a les dimensions d'un cos, podem estar parlant de la seva mida. Però en geometria, la dimensió és el número mínim de coordenades que es requereixen per a definir la posició d'un objecte.

**Dinàmica:** Part de la física que estudia el moviment considerant les causes que el produeixen.

**Direcció:** Línia que passa per dos punts definits, o al trajectòria que segueix un cos en moviment.

**Eix:** Línia recta imaginària. Quan parlem de rotacions, és la línia al voltant de la qual l'objecte pot rotar; si parlem de simetria, és la línia respecte a la qual l'objecte és simètric. En geometria, els eixos cartesianes són línies perpendiculars que serveixen de referència per a orientar-se en l'espai. L'eix d'una persona és la línia imaginària perpendicular al terra que passa pel centre de gravetat.

**Equilibri:** Estat d'un cos en el que totes les forces que actuen sobre ell es troben compensades.

**Espai:** En física, medi en el que se situen els coses, actuen les forces i passen els fets.

**Física:** Ciència que estudia les propietats de la matèria i de l'energia amb l'objectiu d'establir les lleis que expliquen els fenòmens naturals.

**Fricció:** Força originada pel contacte entre dos cossos (que poden estar en moviment o en repòs). S'origina per les irregularitats de les superfícies que es toquen, i s'oposa al moviment relatiu d'aquestes.

**Força gravitatòria:** Una de les quatre interaccions fonamentals. És la força que els cossos exerceixen cap al seu centre sobre tots els altres cossos, i depèn de la massa.

**Impuls:** Variació en el moviment lineal que experimenta un objecte físic en un sistema tancat, per efecte d'una força externa que actua sobre ell durant un temps.

**Inèrcia:** Propietat dels cossos de mantenir el seu estat de repòs o de moviment. És també una mesura de la resistència dels cossos a canviar el seu estat de moviment. Depèn de la quantitat i distribució de la massa.

**Magnitud:** Propietat o qualitat mesurable d'un sistema físic a la que se li pot assignar valors com a resultat d'un mesurament.

**Massa:** Mesura de la quantitat de matèria que un posseeix un cos. És una magnitud escalar que no l'hem de confondre amb el pes (magnitud vectorial).

**Mecànica:** Part de la física que estudia les condicions de moviment i repòs dels cossos, les condicions d'equilibri, així com les forces que produeixen tots els estats.

**Mòdul:** Longitud d'un vector.

**Moment d'una força:** Moment respecte a un punt o a una recta del vector força.

**Moment lineal:** Quantitat de moviment, que resulta del producte entre la velocitat instantània i la massa del cos que es mou.

**Moviment:** Canvi de la posició d'un cos al llarg del temps, sempre dins d'un sistema de referència.

**Món exterior:** Tot el que no pertany al cos en estudi.

**Pes:** Mesura de la força de gravetat que actua sobre un cos. Depèn de l'acceleració gravitatòria i de la massa.

**Posició:** Localització, lloc que ocupa un cos respecte a un sistema de coordenades espacials de referència.

**Rapidesa:** Relació entre la distància recorreguda i el temps emprat per a fer-ho, sense importar la direcció o el sentit. És el mòdul de la velocitat.

**Repòs:** Estat en el qual el cos manté la seva posició respecte a un sistema de coordenades de referència.

**Rotació:** Moviment en el qual canvia l'orientació d'un cos, girant al voltant d'un eix imaginari que es manté fix.

**Sentit:** Un dels dos possibles camins en què pot moure's un cos per a desplaçar-se entre dos punts, o les dues possibles formes d'aplicar un vector seguint una mateixa direcció.

**Sistema:** Grup de components que es relacionen entre sí.

**Temps:** Magnitud física amb la que mesurem la duració dels fets.

**Torque:** Tendència a la rotació produïda per una força que s'aplica fora del centre de massa de l'objecte.

**Vector:** Magnitud definida per un punt en l'espai, un mòdul (o longitud), una direcció i un sentit.

**Velocitat:** Magnitud vectorial que expressa el desplaçament d'un cos durant un període de temps donat.

## 6.2. Glossari de dansa clàssica

**À la cinquième.** En francès, V posició. Posició de cames i/o braços en Cinquena (2<sup>a</sup>) posició.

**À la première.** En francès, I posició. Posició de cames i/o braços en Primera (1<sup>a</sup>) posició.

**À la quatrième.** En francès, IV posició. Posició de cames i/o braços en Quarta (4<sup>a</sup>) posició.

**Arabesque:** Una de les posicions bàsiques en ballet clàssic. El cos de perfil, recolzat en una cama estesa cap enrere i les mans col·locades en diverses posicions harmòniques, per crear la línia més llarga possible des de la punta dels dits de la mà als dits del peu.

**Balance:** Pas de balaceig, compassat alternant l'equilibri mitjançant el vaivé del pes d'un peu a l'altre.

**Ballet:** Dansa clàssica que s'executa amb moviments preestablerts, seguint un argument.

**Cama de suport.** Cama que suporta el pes del cos, de manera que la cama activa queda lliure per a executar un moviment donat.

**Deboulés o Tour Chaines:** Girs encadenats a través de l'escenari, que poden realitzar-se en diversos passos, diagonals o en manges.

**Demi-plié:** Meitat flexió dels genolls. Tots els passos de l'elevació comencen i acaben amb un demi-plié.

**Endehors:** Cap en fora. Posició de cames i peus girats fins a 45 graus, des del centre de la vertical de la columna. Base sustentadora de les cinc/sis posicions de partida del ballet.

**Fouetté:** Gir que utilitza la força de la cama contrària a la que suporta com a impuls per a girar. El cap passa respecte als braços sincrònicament per a mantenir l'equilibri.

**Glissade:** Lliscament. Un pas de moviment en cinquena, utilitzat per a unir altres passos que solen acabar-se en demi-plié. Pot tenir vàries direccions.

**Grand jeté:** Llançament. Les cames es llencen fins aconseguir l'horitzontalitat sincronitzada, mentre el cos manté la verticalitat. El salt es realitza des d'un peu a l'altre precedit d'un lliscament amb la cama de suport.

**Pas de bourrée:** Moviment d'unió entre dos passos. S'executa amb o sense canvi de cama, amb o sense gir, aixecant o no la cama.

**Pas de deux:** És un duo en el que els passos de ballet són executats conjuntament per dues persones.

**Plié:** Doblament. Exercici bàsic de barra.

**Pirouette:** Girar o donar voltes.

**Relevé:** Elevació. Pujar a la mitja punta o a la punta.

## BIBLIOGRAFIA / WEBGRAFIA

- COATES, Emily i DEMERS, Sarah (2019). *Physics & Dance*. 1a ed, United States of America. Yale University Press. ISBN: 978-0-300-19583-5
- DE PEDRO PASCUAL, Carolina. Estudio Ballet Barcelona. *Diccionario de Ballet* [en línia]. 8 de juny de 2006. <<https://www.danzaballet.com/diccionario-de-ballet-2/>> [consulta: 06.08.20]
- ECURED CONTRIBUTORS (2017). *Grand jeté* [en línia] <[https://www.ecured.cu/Grand\\_jet%C3%A9](https://www.ecured.cu/Grand_jet%C3%A9)> [consulta: 06.08.20]
- ELITE ESCUELA DE ARTE Y DANZA. Buenos Aires (2020). *Diccionario de danza* [en línia] <<http://www.elitearteydanza.com.ar/enciclopedia-grand-jete.htm>> [consulta: 08.08.20]
- GRAU, Carla (2015). *La física* [en línia]. <<https://sites.google.com/a/santantoni.epiaedu.cat/la-fisica2/home>> [consulta: 12.06.20] [consulta: 13.06.20]
- GRUPO CAMALEÓN (2017). *Glosario Ballet* [en línia] <<https://glosarios.servidor-alicante.com/ballet>> [consulta: 26.07.20]
- HELEN THE HARE 2017) *The physics of Ballet* [en línia] <<https://helenthehare.org.uk/2017/03/19/the-physics-of-ballet/>> [consulta: 17.08.20]
- HERNÁNDEZ, M. Carmen (1980). *Guía de estudio. Historia de la danza*. La Habana. Editorial pueblo y educacion. ISBN: 9-59-131737-9
- HINSON, Marilyn, BUCKMAN Susan, TATE, Judith & SHERRILL, Claudine (1978). *The Grand Jeté En Tournant Entrelacé* (Tour Jeté). *Dance Research Journal*, Vol.10. Nº 1 (p. 9-13).
- INSTITUTO DE ENSEÑANZA SECUNDARIA "Al-Andalus". Departamento de Física y Química. Arahal (Sevilla). *Estática y dinámica* [en línia] <<https://ingemecanica.com/tutoriales/dinamica.html>> [consulta: 26.07.20]
- KALICHOVÁ, Miriam (2011). International Science Index, Sport and Health Sciences Vol:5, No:11, 2011 waset.org/Publication/14538. *Biomechanical Analysis of the Basic Classical Dance Jump – The Grand Jeté* [en línia] <[https://www.researchgate.net/publication/322682265\\_Biomechanical\\_analysis\\_of\\_the\\_basic\\_classical\\_dance\\_jump\\_-\\_the\\_grand\\_jete](https://www.researchgate.net/publication/322682265_Biomechanical_analysis_of_the_basic_classical_dance_jump_-_the_grand_jete)> [consulta: 28.08.20][consulta: 12.10.20]
- LAPUENTE, Irene (2017). *La Mandarina de Newton. Ciència: La física de la dansa (la 3a llei de Newton i el moment d'inèrcia)*. Betevé [en línia] <<https://beteve.cat/verd-primera/ciencia-la-fisica-de-la-dansa-la-3a-llei-de-newton-i-el-moment-dinerxia/>> [consulta: 05.04.20] [consulta: 12.06.20] [consulta: 26.07.20]

- LAWS, Kenneth (2002). *Physics and the Art of Dance. Understanding movement*. New York. Oxford University Press. ISBN: 0-19-514482-1
- MATAMORO, Blas (1998) *El Ballet*. Madrid. Editorial Acento. ISBN: 84-483-0380-6
- MEGÍAS CUENCA, María Isabel (2009). *Optimización en procesos cognitivos y su repercusión en el aprendizaje de la danza* [en línia]  
<<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/31869/Megias.pdf?sequence=1>>  
[consulta: 21.06.20] [consulta: 26.07.20] [consulta: 12.10.20]
- MIRANDA, Raudel y LEÓN, Sofía (2016). *Modelo para el análisis cinemático del salto grand jeté en el ballet* [en línia]  
<https://studylib.es/doc/7195031/modelo-para-el-an%C3%A1lisis-cinem%C3%A1tico-del-salto-grand-jet%C3%A9-...>  
[consulta: 09.08.20]
- OLMOS, Jimena y FRANCESCHINI, Esteban (2016). *Ciencia que baila. Saltos, piruetas y física para el bailarín científico*. Buenos Aires. Siglo Veintiuno editoriales. ISBN: 978-987-629-623-6
- RAFFINO, María Ester (2020). *Dinámica* [en línia]  
<<https://concepto.de/dinamica/#ixzz6ONFWBcXN>> [consulta: 16.06.20]
- RENOM, Pere (2016). *La ciència en dansa*. TV3: QUÈQUICOM [en línia]  
<<https://www.pererenom.com/la-ciencia-en-dansa/>>  
[consulta: 05.04.20] [consulta: 12.06.20] [consulta: 26.07.20]
- TERMCAT. Centre de terminologia. *Conceptes* [en línia]  
<https://www.termcat.cat/oc/diccionaris-en-linia/149/search/axioma?type=basic&language=&condition=match>  
[consulta: 26.07.20] [consulta: 06.12.20]
- VISIONS STEAM ANELLA DANSA (2020). UPC Barcelona. *Les tres Lleis de Newton*  
<<https://www.youtube.com/watch?v=AhN3fYsaQI4>>  
[consulta: 05.04.20] [consulta: 12.06.20] [consulta: 26.07.20]
- VIQUIPÈDIA, l'enciclopèdia lliure. *Ballet* [en línia] <<https://ca.wikipedia.org/wiki/Ballet>>  
[consulta: 26.07.20]
- VIQUIPÈDIA, l'enciclopèdia lliure. *Leyes de Newton* [en línia]  
<[https://es.wikipedia.org/wiki/Leyes\\_de\\_Newton](https://es.wikipedia.org/wiki/Leyes_de_Newton)> [consulta: 12.06.20] [consulta: 16.06.20]
- VIQUIPÈDIA, l'enciclopèdia lliure. *Mecànica Newtoniana* [en línia]  
<[https://es.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A1nica\\_newtoniana](https://es.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A1nica_newtoniana)> [consulta: 26.07.20]
- VIQUIPÈDIA, l'enciclopèdia lliure. *Parell de forces* [en línia]  
<[https://ca.wikipedia.org/wiki/Parell\\_de\\_forces](https://ca.wikipedia.org/wiki/Parell_de_forces)> [consulta: 05.08.20]
- WIKISOFIA, Enciclopèdia de filosofia. *Mecànica clàssica Newtoniana* [en línia]  
<[https://www.wikisofia.cat/wiki/Mec%C3%A0nica\\_cl%C3%A0ssica\\_newtoniana](https://www.wikisofia.cat/wiki/Mec%C3%A0nica_cl%C3%A0ssica_newtoniana)>  
[consulta: 12.06.20]

## ANNEXOS

### Annex.1. ENTREVISTA 1. Realitzada a l'experta en dansa.

Nom:

Professió:

1. *Quins lligams tens amb la dansa?*
2. *Quant de temps fa que et dediques a la dansa?*
3. *Què sents quan balles? Què t'inspira quan balles?*
4. *Tens algun lligam amb la física? Quin?*
5. *Creus que la física està relacionada amb qualsevol acció, fet, objecte,... que ens envolta?*
6. *Què tenen en comú aquestes dues grans disciplines, aquests dos grans sabers, la dansa i la física?*
7. *Quan balles, saps quin concepte de física apliques? En què et bases?*
8. *Creus que si un ballarí/ballarina aplica aquests conceptes físics pot arribar a millorar la seva tècnica?*
9. *Amb el repertori de dispositius que té avui la ciència per mesurar la distància dels moviments durant el ball o per conèixer la col·locació del cos,... es pot afirmar que la ciència ha enriquit la disciplina de la dansa?*

## **Annex 2. ENTREVISTA 2. Realitzada a l'expert en física**

Nom:

Professió:

- 1. Quins lligams tens amb la física?*
- 2. Creus que la física està relacionada amb qualsevol acció, fet, objecte,... que ens envolta?*
- 3. Tens algun lligam amb la dansa?*
- 4. Quan veus ballar, què sents, què t'inspira?*
- 5. Què tenen en comú aquestes dues grans disciplines, aquests dos grans sabers, la dansa i la física?*
- 6. Quan veus ballar, hi identifiques conceptes físics? En què et bases?*
- 7. Creus que si un ballarí/ballarina aplica aquests conceptes físics pot arribar a millorar la seva tècnica?*
- 8. Amb el repertori de dispositius que té avui la ciència per mesurar la distància dels moviments durant el ball o per conèixer la col·locació del cos,... es pot afirmar que la ciència ha enriquit la disciplina de la dansa?*

## Annex 3. Comentari comparatiu de l'evolució del grand jeté a càrrec de la professora de dansa Lourdes Gómez (Adjunto l'escrit tal com me'l va lliurar).

### Progreso y evolución

Desde el comienzo de esta investigación práctica, donde se pretende demostrar la relación y aplicación de principios y leyes de la física, a partir de pasos de la danza clásica, como es el grand jeté, se puede ver evidentemente un progreso positivo en la ejecución de la técnica para la realización correcta del paso.

Vemos con fecha 8 de julio, que se ejecuta el paso, sin el suficiente empuje, elevación y abertura de ambas piernas, así como su traslación en el espacio.

Posteriormente, el 22 de julio, se observa, en el paso previo (glissade) a la ejecución del grand jeté, una mejor utilización del mismo, dándole sentido a su función, como paso preparatorio, de despegue, empuje y propulsión, realizado de manera concisa.

El 5 de agosto, se observa una mayor abertura del ángulo que describen ambas piernas en el aire o momento de elevación suspensión, por lo que ya llegado a este punto, la evolución del paso, para conseguir el objetivo técnico, será más rápida y efectiva, acompañado por la sensación correcta de coordinación de todos los factores: desplazamiento, propulsión, empuje, elevación y traslación espacial.

En las fechas posteriores, la evolución en la ejecución del grand jeté es muy positiva. Se observa claramente como se va obteniendo una mayor abertura de las piernas en el aire, destacándose el tiempo transcurrido, entre ejecuciones consecutivas por fechas demostradas.

Con fecha 28 de Octubre, considero se ha alcanzado la mejor ejecución técnica del paso. Están dados todos los factores, y el 4 de Noviembre se ha alcanzado el punto máximo de preparación inicial del paso (glissade), ejecución y resultados, evidenciando que cuando se conocen y utilizan correctamente, la coordinación, la fuerza, el empuje, la propulsión, el despegue, la elevación, la suspensión y la amortiguación en el momento de bajada a tierra, (no le debemos llamar caída a tierra) podemos decir... lo hemos alcanzado !!

Quedan aún, detalles desde el pto de vista, técnico y específico de la danza clásica, como es el trabajo de las piernas en dehors (rotación hacia afuera en  $180^\circ$ ). Pero, ese detalle es otro tipo de trabajo, a entender y obtener por otros medios.

Considero que el objetivo está logrado, en breve, tiempo, pero con una mayor conciencia de la acción, y presencia de la física en esta disciplina tan hermosa y difícil que es la danza.

## **Annex 4. Comentari comparatiu de l'evolució del grand jeté a càrrec del professor de física Lluís García.**

- A nivell artístic, és emocionant veure com fas el Gran jeté i com el vas millorant.  
M'inspira un tipus de bellesa que només l'art pot aconseguir. Gràcies.
- A nivell de la Física, veig que l'angle de vol és cada vegada més gran, amb la qual cosa el centre de gravetat del teu cos puja, cosa que afavoreix el vol. Probablement deu augmentar en dècimes de segon el temps de vol ( això és ja supòsit meu).  
De les altres fases no en trec conclusions tan clares. S'ha d'estudiar amb lupa com varia el centre de gravetat en totes les fases.  
Molt bona feina i gràcies.

